

O Estado da Arte do Mapeamento Acústico: uma análise bibliográfica sistemática

Gabriel Santos Casagrande

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil
casagrandegs@gmail.com

Andréa Coelho Laranja

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil
andreacoelholaranja@gmail.com

ABSTRACT

Noise is one of the biggest issues in the urban environment. Cities are getting bigger and becoming more densely occupied. Related with that there is a tendency of worsening traffic, the major urban noise source. Noise effects are not only the annoyance. Researches have been associating high noise levels to psychological issues and many other pathologies. In this study a systematic bibliographic analysis was made considering articles publicized from 2002 (year of European Noise Directive 2002/49/EC publication) until June 2018 in CAPES “Qualis A1” journals on “Architecture, Urbanism and Design” major. By establishing this criterion, it was intended to cover the most important techniques and methodologies on urban noise mapping, focusing on traffic noise. It was found that most of the papers came, in fact, from European researches, as most of the literature made have already mentioned. Although it is important to highlight Asian amount researches, most of them in China. The results showed there is a large number of commercial packages, models, methods and standards to assess and predict urban noise. Each one suits better for specific local conditions such as construction materials, urban morphology, culture, vehicle characteristics and weather.

Keywords: *Noise mapping; Traffic noise; Noise pollution.*

1. INTRODUÇÃO

O ruído urbano está intrinsecamente relacionado aos centros urbanos, sendo a poluição sonora uma das grandes causadoras da perda da qualidade de vida das populações. Pinto e Mardones (2009) enfatizam a associação entre ruído urbano às atividades humanas, aos processos industriais bem como aos meios de transporte. Murphy e King (2014) destacam o tráfego rodoviário como maior fonte de ruído entre os modais. Questionários aplicados a cidadãos europeus também apontaram o ruído como uma das principais preocupações ambientais, igualando-se, muitas vezes, ao aquecimento global, como consta em Calm (2007). Acrescenta-se que os problemas advindos do ruído afetam a saúde humana, podendo provocar insônia, hipertensão arterial, doenças cardíacas isquêmicas e deficiência auditiva. Outros possíveis efeitos incluem distúrbios de sono, stress físico e psicológico e deficiência cognitiva de crianças (CALM, 2007). Além disso, o ruído altera ainda a percepção visual do espaço (JIANG; KANG, 2016).

Em pesquisas de ruído ambiental, a ferramenta de mapeamento é extremamente importante para o processo de quantificação e visualização dos níveis de poluição sonora (De KLUIJVER; STOTER,

2003 apud MURPHY; KING, 2014). Dentre outras funções, esse instrumento permite estimar os níveis de ruído, suas fontes, sua dispersão e a população exposta.

Um marco para o tema em questão foi a publicação da Diretiva Europeia 2002-49-EC de Ruído Ambiental (Environmental Noise Directive - END), aprovada em 2002, que obriga os países membros a se responsabilizarem pelo monitoramento, gerenciamento, publicidade e consulta e elaboração de uma estratégia europeia de longo prazo para enfrentamento da questão (GUARINONI; GANZLEBEN; MURPHY, 2012). De uma forma geral, a END possui quatro áreas que são consideradas principais: “[...] (1) mapa estratégico de ruído; (2) estimativa de população exposta; (3) planejamento de ação; (4) disseminação dos resultados” (MURPHY; KING, 2014, p.86).

O mesmo autor cita que mapeamento urbano pode ser feito, basicamente, utilizando-se dois tipos de abordagem: medições diretas ou previsões por meio de modelos matemáticos. A utilização exclusiva de medições, apesar de mais precisa, é custosa, especialmente para períodos mais longos, como no caso dos métodos recomendados pela END. Já os modelos matemáticos possuem menos custos operacionais, além de permitirem avaliações para situações futuras (MURPHY; KING, 2014).. Na maior parte dos casos, os cálculos no mapeamento urbano são feitos através de softwares comerciais. Estudos como de Arana et al., (2010) mostraram que diferentes pacotes de software podem apresentar resultados igualmente distintos, ainda que seja utilizado o mesmo modelo para cálculo de emissão ou de dispersão. Outro importante fator relativo aos resultados e que reforça a necessidade de validação é que a maioria dos modelos é empírica ou semi-empírica. Desta forma, os resultados estão sujeitos a imprecisões, caso os modelos sejam aplicados em regiões com características diferentes daquelas para as quais foram desenvolvidos (WOLDE, 2003 apud MURPHY; KING, 2014). Por isso, as boas práticas recomendam que sejam feitas validações dos resultados encontrados (MANVELL; VAN BANDA, 2011; WG-AEN, 2007).

Os mapas de ruído através de modelagem são elaborados por meio da junção de modelos de emissão, modelos de dispersão e modelos/metodologias para interpolação dos dados. Murphy e King (2014) relatam que a maior parte dos pacotes comerciais não permite a escolha do método de interpolação ou sequer informam a metodologia utilizada, o que diminui o controle do pesquisador e pode incorrer em aumento de incertezas. Relatam ainda que, apesar disso, alguns deles possuem funções de exportação dos dados para posterior interpolação em sistemas GIS (Sistema de Informações Geográficas), o que é uma prática mais recomendada.

Considerando que o ruído deva ser considerado como critério de tomada de decisões no planejamento urbano, tanto para o ambiente construído quanto para novos empreendimentos e expansão urbana, este trabalho tem como objetivo verificar quais são as metodologias mais utilizadas para modelagem e mapeamento de ruído urbano, mais especificamente ruído de tráfego veicular.

2. METODOLOGIA

Utilizando a plataforma Sucupira/Qualis/CAPES, foi feita pesquisa bibliográfica em periódicos de classificação A1, na área “Arquitetura, Urbanismo e Design”. Seleccionados os periódicos, realizou-se pesquisa nas bases de dados disponíveis utilizando-se o termo “noise” para qualquer campo, no intuito de minimizar erros na seleção de palavras-chave. Foram considerados artigos científicos, sendo o recorte temporal do ano de 2002 até 31 de junho de 2018, visando estudar os avanços no tema desde

a END, aprovada pelo parlamento europeu naquele ano. A partir dos resultados encontrados, estes foram organizados, divididos e apresentados em ordem cronológica e separados em 3 partes na próxima seção: a) mapeamento de ruído, b) modelos de emissão e c) modelos de dispersão. Na organização das informações nos quadros, a anotação do objetivo foi realizada a partir de tradução nossa dos textos artigos originais pesquisados, as informações quanto ao método foram simplificadas.

3. RESULTADOS¹

Quadro 1 - Mapeamento de Ruído

(continua)

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método
Janczur et al.	2006	Analisar a “influência da direcionalidade da emissão de ruído de veículos na distribuição do nível sonoro em um cânion urbano” (p.659)	Utilização do programa PROP11
Janczur et al.	2008	Modelar o ruído na fachada de um prédio localizado em frente a uma via	Utilização do programa PROP5 e Harmonoise
Pinto e Mardones	2009	“Realizar o cálculo dos níveis de ruído aos quais uma população é exposta e quantificar a influência de aspectos arquitetônicos [...]” (p.309)	Utilização do software Cadna/A e o modelo de emissão RLS90; topografia obtida de modelo CAD e dados de tráfego informados pela companhia de tráfego local
Arana et al.	2010	Comparar resultados de dois populares softwares de mapeamento acústico	Utilização dos softwares Cadna/A e SoundPlan com os mesmos dados de entrada
Arana et al.	2011	Analisar o impacto de diferentes precisões verticais de modelos de terreno digitais (DTM) no mapeamento de ruído	Simulações feitas com tolerâncias do DTM
Makarewicz; Galuszka	2011	Revisar mapeamentos de ruído com Lden, Ld, Le e Ln estimados com número de dias medidos inferior a 365	Desenvolvimento de modelo empírico
Asensio et al.	2011	“Otimizar qualidade do mapa com pequena adição muito baixa de custo computacional [...]” (p.599)	Desenvolvimento de “procedimento iterativo inteligente” (p.599)
Law et al.	2011	“Descrever a experiência de Hong Kong [...] na avaliação de ruído, disseminação e apresentação de dados, e os avanços de tecnologias gráficas de computação 3D para mapeamento” (p.536)	Mapeamento 3D; modelo de emissão CRTN; realidade virtual; pacote computacional LIMA; GIS
Ko; Chang; Lee	2011	Gerar mapa de ruído 3D de fachada para calcular o número de pessoas expostas a um determinado nível de ruído	Mapas digitais GIS e modelos de prédios; geração de mapa de fontes de ruído (SoundPlan e RLS90);
Walerian; Janczur; Czechowicz	2011	Avaliar a eficiência de barreiras de ruído em diferentes configurações	Utilização do programa PROP5 e modelo MAK2; teste para fonte pontual e fonte linear
Murphy; King	2011	Desenvolver mapa de ruído estratégico; estimar a população exposta a limites superiores aos recomendados; “investigar a utilidade de quatro medidas mitigadoras para planejamento acústico”: redução de velocidade, redução de tráfego, as duas anteriores em conjunto e barreiras acústicas (p. 487)	Dados de trânsito fornecidos pelo setor público; modelo CRTN
Licitra et al.	2011	Desenvolver método para priorização das edificações com maior nível de incômodo por ruído para ações do poder público	Utilização de dados de mapeamento de ruído já realizados; desenvolvimento de novo índice para priorização de edificações e comparação com outros métodos
Wang; Kang	2011	Investigar como a distribuição de ruído varia em função de diferentes densidades e morfologias urbana	Comparação de mapas de ruído de duas cidades; Dados obtidos através de estudos prévios e analisados via programa em Matlab. Utilização do software Cadna/A, CRTN e CRN

¹ O número que segue adiante das informações que tratam-se de citações diretas onde houve tradução nossa nas colunas objetivo e metodologia é o número da página do trabalho citado.

Quadro 1 – Mapeamento de Ruído

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método	(conclusão)
Mioduszewski et al.	2011	Validar de mapeamento de ruído	Comparação de resultados de mapeamento realizado através de simulação segundo recomendações da diretiva 2002/49/EC; utilização do software Cadna/A com resultados de medições segundo recomendações do projeto IMAGINE	
Salomons; Pont	2012	Investigar a relação numérica entre a distribuição espacial de ruído com as distribuições de volume de tráfego, de densidade e da forma urbana.	Introdução do conceito de elasticidade de tráfego urbano; níveis de ruído na fachada calculados através do modelo proposto por Salomons et al. (2009)	
Singh et al.	2013	Avaliar os efeitos de diferentes condições meteorológicas sobre o ruído urbano	Medições; análises de correlação; modelo de regressão	
Campello-Vicente et al.	2017	Avaliar o “efeito de veículos elétricos nos mapas de ruído urbanos” (p.59)	Desenvolvimento de novo modelo que inclui no NMPB ROUTES os efeitos de veículos elétricos	
Zhao et al.	2017	Gerar mapa de ruído 3D a partir de modelos 3D de cidades previamente criados	Utilização de malhas triangulares ou quadrangulares geradas a partir do modelo 3D; CRTN; modelo de emissão baseado no ângulo de visão	
Debnath; Singh	2018	Avaliar as condições do ruído de tráfego em diferentes pontos da cidade de Dhanbad; desenvolver da mapas de ruído utilizando ArcGIS; desenvolver um modelo de predição de ruído para a cidade	Medições georreferenciadas com GPS; GIS; utilização do modelo CRTN; Método de interpolação da distância média ponderada; Utilização de dados governamentais para obtenção de tipos de veículos	

Fonte: autores

Quadro 2 - Modelos de Emissão

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método	(continua)
Li et al.	2002	“Desenvolver modelo de ruído de tráfego rodoviário baseado nos níveis de emissão de ruído de veículos, normativas ambientais, e condições de tráfego nas cidades chinesas e produzir um sistema integrado a GIS para uso na previsão e avaliação do ruído de tráfego urbano”(p. 680)	Desenvolvimento de modelo de ruído integrado com GIS, no qual o usuário interage com o sistema através do método “E SE (<i>What if</i>)”	
Cho et al.	2004	Desenvolver “um modelo totalmente compatível com a ISO 9613 com métodos complementares que aumentam sua aplicabilidade” (p. 883)	Cálculo da propagação: ISSO 9613; cálculo de atenuação de som devido a terrenos ondulados em bandas de oitava, divergência geométrica no campo próximo da fonte e efeitos de vento de curto prazo; modelo de emissão segundo ASJModel-1998	
Tang; Tong	2004	“Melhorar o modelo de previsão de ruído [CRTN] para os casos em que as autoestradas são inclinadas” (p. 172)	Medições e regressões feitas para ajustes nas equações para os indicadores Laeq, L10, L50 e L90; testes com o CRTN utilizando-se diferentes correções e comparando seus resultados com outros modelos	
Tansatcha Et al.	2005	“Fornecer uma previsão eficaz dos níveis de ruído do tráfego rodoviário na Tailândia” (p. 1136)	Construção de modelo de ruído de tráfego rodoviário, que utiliza de propagação perpendicular do ruído de tráfego a partir da linha central de uma via de transporte; utilização de nível sonoro equivalente (Leq). Criação de um modelo básico de emissão de ruído para diferentes tipos de veículos	
Gündoğdu; Gökdag; Yüksel	2005	Determinar os níveis de ruído de tráfego em Erzurum, Turquia; “desenvolver uma ferramenta de predição que possa ser utilizada para redesenhar o fluxo de tráfego” (p. 807)	Medições manuais de ruído e contagens de veículos realizadas nos quatro pontos de tráfego mais pesados da cidade por um período de 12 horas; desenvolvimento de dois modelos de previsão baseados em algoritmos genéticos	
de Coensel et al.	2005	Avaliar “a influência da dinâmica do fluxo de veículos na paisagem acústica urbana” (p. 175)	Desenvolvimento de ferramenta de micro simulação para predição de ruído dinâmico de tráfego baseado em GIS acoplado a um modelo de estado da arte (raio traçante 2.5D) de propagação de ruído	
Shu et al.	2007	“Investigar o algoritmo de reflexão do solo em relação à propagação de ruídos rodoviários e avaliar a precisão dos níveis de ruído absolutos previstos sem barreiras de FHWA TNM 2.5” (p. 1459)	“Comparação de programa de previsão de ruído de rodovia (HNP 1.0), que possui algoritmo aprimorado de reflexão do solo, com o TNM 2.5 baseado em dados de medição de campo de uma fonte pontual por Parkin e Scholes” e a medição de campo na estrada 111 no estado de Indiana (p. 1459)	

Quadro 2 - Modelos de Emissão

(continuação)

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método
Can; Leclercq; Lelong	2008	Testar a influência da hipótese de modelagem de tráfego e representação em descritores de ruído; determinar qual representação de fonte de ruído tira proveito da dinâmica de tráfego e é eficiente computacionalmente	Utilização do modelo Harmonoise para modelagem da propagação do som; cálculo dos descritores a partir dos resultados do modelo; Utilização de diferentes resoluções e 4 diferentes representações
Chevallier et al.	2009	“Propor modelo dinâmico de emissão de ruído baseado em uma nova ferramenta microscópica de simulação de tráfego dedicada especificamente a rotatórias [...]” que: “(i) possua poucos parâmetros; (ii) seja fácil de calibrar com um conjunto limitado de dados; (iii) modele o número de veículos parados, a lentidão e a dinâmica do comprimento da fila em cada entrada com precisão, quaisquer que sejam as condições de tráfego na rotatória” (p. 762)	Desenvolvimento de novo modelo que combina um modelo de fluxo de tráfego microscópico com leis de emissão de ruído e cálculo de propagação
Hamet et al.	2010	Descrever os procedimentos seguidos para determinar os componentes, fornecer seus valores numéricos e ilustrar algumas emissões de ruído do veículo para o novo guia francês de transportes terrestres GdBN08	Testes com diferentes dados de entrada e comparação dos resultados obtidos com o método antigo (GdB80)
Romeu et al.,	2011	“Quantificar o erro cometido com a utilização de medições de curta duração para estimativa do nível diurno de ruído” (p. 569)	Categorização de ruas e categorização temporal; Medições contínuas feitas em intervalos de 15 minutos em 137 ruas de nove cidades. Ajustes nos tamanhos dos intervalos de medição e o período de medições para alcançar um erro determinado
Makarewicz; Galuszka	2011	“Mostrar como calcular do nível sonoro médio anual do ruído do tráfego rodoviário quando as características do diagrama de fluxo de velocidade estão disponíveis” (p.190)	Passo a passo fundamentando teoricamente as equações de emissão, propagação e efeitos de congestionamentos
Zhao; Zhang; Chen	2012	Simplificar os cálculos do modelo FHWA para estradas não retas	Através de um programa desenvolvido em MATLAB, utilizaram uma simplificação do modelo FHWA que divide a estrada em seções e o nível de ruído é calculado a partir da sobreposição da energia acústica destas seções
Walerian; Janczur; Czechowicz	2014	“Investigar o papel da redução mútua por automóveis na propagação do ruído do tráfego sobre a fachada de um prédio vizinho a uma estrada de grande fluxo de veículos” (p. 292)	Utilização do programa PROP12 e modelo de emissão MAK2 (G=2), que considera as faixas vizinhas através de um fator de bloqueio. Dois diferentes casos foram analisados
Cai et al.	2015	Desenvolver mapas de ruído de tráfego rodoviário diurno e noturno para Guangzhou, utilizando Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Sistemas de Posicionamento Global (GPS) considerando a dificuldade em obtenção de dados para cidade estudada	Combinação de modelo de emissão de ruído de veículo único e modelo de propagação de ruído são combinados. O efeito de atenuação de edifícios urbanos e outros obstáculos é considerado no modelo. O ruído do tráfego rodoviário em Guangzhou é calculado usando dados de GPS, e o algoritmo é otimizado de três maneiras. Os dados do GIS são usados para construir mapas de ruído de tráfego durante o dia e à noite
Covaciu; Floreia; Timar	2015	Estudar a emissão de ruído “em um cruzamento hipotético, para duas configurações diferentes: interseção cruzada sinalizada e rotatória” (p.43)	Dados do fluxo de tráfego foram detalhados próximo e dentro do cruzamento, usando as velocidades do fluxo de tráfego medidas em condições reais, para carros de passeio. A análise foi feita utilizando o software de mapeamento de ruído LimA.
de Coensel; Brown; Tomerini	2016	Desenvolver uma nova abordagem para prever níveis de ruído mais realística que leva em conta distribuições de potência sonora medidas produzidas por veículos individuais	“Níveis de potência sonora dos veículos individuais com base em níveis máximos recolhidos de uma base de dados para automóveis e caminhões em condições operacionais reais foram utilizados como correção à legislação prototípica de emissões para cada categoria de veículos”. Modelo de emissão: Imagine; software de correções de distribuição (Noysim2) desenvolvido pelos autores; modelo de propagação segue o proposto pela ISO 9613 (p. 171)
Cai et al.	2017	Construir um modelo de emissão de ruído de tráfego que considere os efeitos de pista molhada	Utilização de regressão numérica a partir de dados medidos para gerar fórmula que calcula o nível de pressão sonora em função de escala logarítmica da velocidade

Quadro 2 - Modelos de Emissão

(conclusão)

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método
Estévez-Mauriz; Forssén	2018	Comparar os efeitos de rotatórias e cruzamentos sob a ótica da emissão de ruído	Foi desenvolvido modelo baseado em características de veículos individuais em função do tempo; estudo de caso real em um estágio de desenvolvimento. Incorporação de software de simulação de tráfego microscópico de última geração combinado com o recente modelo de emissão de ruído, CNOSSOS-EU, aplicado através de uma ferramenta de ruído dinâmico desenvolvido internamente, incluindo motor de combustão interna e veículos totalmente elétricos em diferentes fluxos.

Fonte: autores

Quadro 3 - Modelos de Dispersão

(continua)

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método
Thorsson; Ögren; Kropp,	2004	Avaliar os níveis de ruído no lado protegido de edificações usando um modelo de cidade plana	Desenvolvimento de modelo baseado no método de previsão nórdica para o ruído do tráfego rodoviário no que diz respeito à descrição da fonte. Foram utilizados fatores de correção baseados em medições
Thorsson; Ögren	2005	Avaliar os níveis de ruído em áreas protegidas utilizando-se um modelo de raio simples e um modelo estatístico	Utilização do modelo de cidades planas (ruas são cânions e a propagação do ruído é estimada utilizando-se fontes equivalentes na abertura destes cânions) e de um modelo de transporte linear aplicável em grande escala.
Heimann	2007	“[...] mostrar o sombreamento acústico por construção alongada de comprimento finito em ambos os lados de uma rua da cidade (p. 218)	Utilizou-se um “modelo tridimensional euleriano linearizado para simulações de modelos de propagação de som em situações urbanas idealizadas com efeitos do vento” (p. 217)
Tanaka; Shiraishi	2008	Propor “[...] um método prático de previsão de $L_{Aeq,1year}$ considerando os efeitos do vento quando a estrutura da estrada é complexa e o terreno não é uniforme” (p. 1042)	Medições realizadas em campo e coleta de dados meteorológicos; estudo de correlações entre direções de vento e volume de tráfego e ruído
Cho; Mun	2008	Desenvolver modelo de previsão de ruído de tráfego rodoviário	Introdução de modelo baseado em método de propagação de som ao ar livre totalmente compatível com a ISO 9613 e a estimativa do nível de potência sonora (PWL) para um segmento de estrada, como sugerido no Modelo ASJ-1998; categorização de vários tipos de superfície e determinação e modelagem do PWL de cada tipo de superfície através de medições dos níveis de ruído obtidos a partir de métodos recentemente desenvolvidos
Walerian, e.; janczur; czechowicz	2011	Avaliar a eficiência de barreiras acústicas em área construída	Utilizaram-se o programa PROP5 e modelo de propagação MAK2 ($G=2$). Propagação descrita pelo método de imagem e uma via é representada por fontes pontuais distribuídas por faixas de rodagem. O espaço de propagação sob interesse é um meio-espaço com obstáculos de diferentes formas cujas dimensões e distância de uma estrada estão na faixa de poucas dezenas de metros. Suposição de atmosfera neutra; propagação em gás ideal em repouso.
Rodríguez-Molares; Sobreira-Seoane; Martín-Herrero	2011	Investigar numericamente a incerteza do ruído do tráfego devido à variabilidade das distâncias do veículo a partir do receptor	Utilização de modelo computacional baseado em Monte Carlo e na teoria de Weyl-Ingard. Resultados ajustados para o cálculo de incertezas utilizando-se o método dos mínimos quadrados
Can; Fortin; Picaut	2015	“Contabilizar o efeito de reflexões difusas e acessórios dentro de cânions urbanos na propagação de som utilizando-se modelo de traçado de raios” (p. 83)	Simulações definidas por “[...] uma combinação exaustiva de todos os parâmetros utilizando-se o código de rastreamento de partículas sonoras SPSS a fim de estimar a atenuação do som na rua, em comparação com uma rua vazia com reflexão especular sobre fachadas de edifícios”. Foram testados os efeitos de geometria e propriedades acústicas da rua, fachada e acessórios urbanos (p. 92)

Quadro 3 - Modelos de Dispersão

(conclusão)

Autor(es)	Ano	Objetivo(s)	Método
Echevarria Sanchez et al.	2016	“[...] fornecer uma visão geral sistemática de várias soluções arquitetônicas e a detecção de influentes elementos de design em um cânion urbano típico” (p. 97)	Foram avaliados os efeitos de 42 configurações de edificações, via e acessórios urbanos em cânions sobre a dissipação do som. Estudo do “[...]efeito do desenho do cânion na distribuição do nível de pressão sonora é feito numericamente com grande detalhamento com o método de onda completa de diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD). Os espectros de energia da fonte equivalente CNOSSOS foram utilizados para aproximar as fontes de ruído do tráfego rodoviário ao longo de duas faixas de tráfego” (p. 96)
Swearingen; Horvath; White	2017	“Criar método para adaptar as avaliações de ruído de longo prazo a um local específico”; “investigar como as avaliações de ruído podem ser afetadas por climas diferentes”; “determinar os tipos e valores e as mudanças climáticas necessárias para alterar consideravelmente os contornos de ruído” (p. 50)	Metodologia da ISO 13474 para geração de tabelas de propagação sob diferentes condições meteorológicas, geradas pelo algoritmo Fast Field Program (FFP); método de exposição sonora de média ponderada C (CSEL) para avaliar a influência dos ventos na propagação do som; simulação com dados substitutos de outras regiões para o caso de não haver dados disponíveis, o quanto de erro é gerado ao classificar os ventos por quadrantes e quão demorada seria a avaliação de a área substituta e a apropriada
Hou; Cai; Wang	2017	Realizar “[...] modelagem dinâmica do ruído de tráfego 3D baseado no particionamento de espaço, usando o algoritmo de raio do exterior para o interior dos edifícios”; “estudar dos efeitos de fatores de tráfego parcial na distribuição dinâmica de ruído em ambientes internos e externos utilizando-se a modelagem dinâmica” (p. 226)	Desenvolvimento de modelo “[...] baseado no pressuposto básico de que as ondas sonoras são não flexurais, que se propagam em linha tanto em ambientes internos quanto externos”; método 3D traçado de raios baseado no particionamento de espaço; utilização do software Paramics para simulação microscópica de tráfego; teste do impacto da velocidade dos veículos, proporção de veículos pesados e efeito de semáforos em cruzamentos (p. 226)
Montes González et al.	2018	Estudar o efeito do estacionamento de carros sobre a dispersão do som e incidência sobre as fachadas de prédios	Utilização do Método dos Elementos de Contorno (MEC)

Fonte: autores

Entre as pesquisas analisadas, foi verificado que existe uma grande variedade de maneiras de calcular, interpretar e exibir informações sobre ruído urbano. As práticas mais comuns são a utilização de coeficientes de correção, considerando-se os dados medidos para efeito de validação, ou alteração do algoritmo no intuito de aumentar a precisão do modelo para situações específicas. Os trabalhos estudados mostraram ainda que o aspecto cultural, a morfologia urbana, o tipo de veículo e as condições climáticas são fatores determinantes para a precisão das estimativas.

CONCLUSÃO

Esta pesquisa tem como premissa o fato de que o ruído deve ser considerado como critério de tomada de decisões no planejamento urbano. O objetivo principal foi verificar quais são as metodologias mais utilizadas para modelagem e mapeamento de ruído urbano, mais especificamente ruído de tráfego veicular. Embora a União Europeia atualmente seja o principal núcleo de desenvolvimento do assunto, após a aprovação da diretiva 2002-49-EC (END), e a mesma recomende modelos para cada tipo de ruído, a escolha não é obrigatória entre os países membros e não há um padrão estabelecido em ordem mundial. A maior parte dos modelos é empírica ou semi-empírica, o que faz com que a aplicabilidade seja limitada às diferentes condições para as quais foram desenvolvidos. Alguns métodos estabelecidos como boas práticas vêm sendo questionados. Por outro lado, com a evolução da capacidade computacional, ferramentas 3D que utilizam cálculos diretos são desenvolvidas e aplicadas com

sucesso no estudo do ruído urbano.

Observou-se que há uma grande variedade de modelos desenvolvidos e indicadores de ruído, o que dificulta a comparação de resultados de trabalhos. Da mesma maneira, há grande diversidade de softwares comerciais, que permitem a utilização de modelos diferentes. Verificou-se que, embora alguns sejam amplamente utilizados e bem aceitos pela comunidade científica, é necessário cautela, uma vez que, para os mesmos dados de entrada e o mesmo modelo, podem haver diferenças nos resultados e que o método de interpolação utilizado deve ser considerado.

A escolha dos modelos muitas vezes está sujeita à disponibilidade e qualidade dos dados de entrada, que influenciam diretamente na qualidade do resultado, ou do método recomendado pelo órgão responsável no país, que muitas vezes já possuía algum modelo desenvolvido. Também conclui-se que a maior parte dos artigos analisados trata do desenvolvimento e aperfeiçoamento de modelos, em detrimento da aplicação e estabelecimento de ações estratégicas para redução da poluição sonora. Há duas possibilidades que podem ter gerado este resultado na análise: o recorte estabelecido não abranger periódicos que tratem destas ações ou ainda haver poucas iniciativas de controle e gerenciamento do ruído. Ressalta-se também que não houve grande crescimento de publicações sobre ruído urbano desde 2002.

REFERÊNCIAS

- ARANA, M. et al. Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 163, n. 1–4, p. 503–513, 2010.
- ASENSIO, C. et al. Self-adaptive grids for noise mapping refinement. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 599–610, 2011.
- CAI, M. et al. Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS. **Applied Acoustics**, v. 87, p. 94–102, 2015.
- CAI, M. et al. Study of the traffic noise source intensity emission model and the frequency characteristics for a wet asphalt road. **Applied Acoustics**, v. 123, p. 55–63, 2017.
- CALM. **Research for a quieter Europe in 2020**, CALM II Network, European Commission Research Directorate-General, Bruxelas, 2007. Disponível em <https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20120611_125332_99759_20070927-CALM2-SPU-Sep07-final.pdf> Acesso em: 29 jul. 2018.
- CAMPELLO-VICENTE, H. et al. The effect of electric vehicles on urban noise maps. **Applied Acoustics**, v. 116, p. 59–64, 2017.
- CAN, A.; FORTIN, N.; PICAUT, J. Accounting for the effect of diffuse reflections and fittings within street canyons, on the sound propagation predicted by ray tracing codes. **Applied Acoustics**, v. 96, p. 83–93, 2015.
- CAN, A.; LECLERCQ, L.; LELONG, J. Dynamic estimation of urban traffic noise: Influence of traffic and noise source representations. **Applied Acoustics**, v. 69, n. 10, p. 858–867, 2008.
- CHEVALLIER, E. et al. Dynamic noise modeling at roundabouts. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 5, p. 761–770, 2009.
- CHO, D. S. et al. Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: Comparison with measurements. **Applied Acoustics**, v. 65, n. 9, p. 883–892, 2004.
- CHO, D. S.; MUN, S. Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types. **Applied Acoustics**, v. 69, n. 11, p. 1120–1128, 2008.

COVACIU, D.; FLOREA, D.; TIMAR, J. Estimation of the noise level produced by road traffic in roundabouts. **Applied Acoustics**, v. 98, p. 43–51, 2015.

DE COENSEL, B. et al. The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 2, p. 175–194, 2005.

DE COENSEL, B.; BROWN, A. L.; TOMERINI, D. A road traffic noise pattern simulation model that includes distributions of vehicle sound power levels. **Applied Acoustics**, v. 111, p. 170–178, 2016.

DEBNATH, A.; SINGH, P. K. Environmental traffic noise modelling of Dhanbad township area – A mathematical based approach. **Applied Acoustics**, v. 129, p. 161–172, 2018.

ECHEVARRIA SANCHEZ, G. M. et al. The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. **Building and Environment**, v. 97, p. 96–110, 2016.

ESTÉVEZ-MAURIZ, L.; FORSSÉN, J. Dynamic traffic noise assessment tool: A comparative study between a roundabout and a signalised intersection. **Applied Acoustics**, v. 130, p. 71–86, 2018.

GUARINONI, M.; GANZLEBEN, C.; MURPHY, E. Towards A Comprehensive Noise Strategy. **Towards A Comprehensive Noise Strategy**, p. 11–23, 2012.

GÜNDOĞDU, O.; GÖKDAĞ, M.; YÜKSEL, F. A traffic noise prediction method based on vehicle composition using genetic algorithms. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 7, p. 799–809, 2005.

HAMET, J. F. et al. New vehicle noise emission for French traffic noise prediction. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 9, p. 861–869, 2010.

HEIMANN, D. Three-dimensional linearised Euler model simulations of sound propagation in idealised urban situations with wind effects. **Applied Acoustics**, v. 68, n. 2, p. 217–237, 2007.

HOU, Q.; CAI, M.; WANG, H. Dynamic modeling of traffic noise in both indoor and outdoor environments by using a ray tracing method. **Building and Environment**, v. 121, p. 225–237, 2017.

JANCZUR, R. et al. Application of simulation program to specific urban situation. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 7, p. 973–985, 2009.

JANCZUR R. et al. Influence of vehicle noise emission directivity on sound level distribution in a canyon street. Part II: Experimental verification. **Applied Acoustics**, v. 67, n. 7, p. 659–679, 2006.

JIANG, L.; KANG, J. Effect of traffic noise on perceived visual impact of motorway traffic. **Landscape and Urban Planning**, v. 150, p. 50–59, 2016.

KO, J. H.; CHANG, S. II; LEE, B. C. Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 544–550, 2011.

LAW, C. W. et al. Advancement of three-dimensional noise mapping in Hong Kong. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 534–543, 2011.

LI, B. et al. A GIS based road traffic noise prediction model. **Applied Acoustics**, v. 63, n. 6, p. 679–691, 2002.

LICITRA, G. et al. A novel method to determine multiexposure priority indices tested for Pisa action plan. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 505–510, 2011.

MAKAREWICZ, R.; GALUSZKA, M. Empirical revision of noise mapping. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 578–581, 2011.

MAKAREWICZ, R.; GAŁUSZKA, M. Road traffic noise prediction based on speed-flow diagram. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 4, p. 190–195, 2011.

MANVELL, D.; HARTOG VAN BANDA, E. Good practice in the use of noise mapping software. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 527–533, 2011.

MIODUSZEWSKI, P. et al. Noise map validation by continuous noise monitoring. **Applied Acoustics**, v.

72, n. 8, p. 582–589, 2011.

MONTES GONZÁLEZ, D. et al. Acoustic screening effect on building façades due to parking lines in urban environments. Effects in noise mapping. **Applied Acoustics**, v. 130, p. 1–14, 2018.

MURPHY, E.; KING, E. A. **Environmental Noise Mapping, Public Health and Policies**. Elsevier, 2014.

MURPHY, E.; KING, E. A. Scenario analysis and noise action planning: Modelling the impact of mitigation measures on population exposure. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 487–494, 2011.

PINTO, F. A. N. C.; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods - Example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 155, n. 1–4, p. 309–318, 2009.

RODRÍGUEZ-MOLARES, A.; SOBREIRA-SEOANE, M. A.; MARTÍN-HERRERO, J. Noise variability due to traffic spatial distribution. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 5, p. 278–286, 2011.

ROMEU, J. et al. Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 569–577, 2011.

SALOMONS, E. M.; BERGHAUSER PONT, M. Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. **Landscape and Urban Planning**, v. 108, n. 1, p. 2–16, 2012.

SHU, N. et al. Comparative evaluation of the ground reflection algorithm in FHWA Traffic Noise Model (TNM 2.5). **Applied Acoustics**, v. 68, n. 11–12, p. 1459–1467, 2007.

SINGH, D. et al. The effects of meteorological parameters in ambient noise modelling studies in Delhi. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 2, p. 1873–1882, 2013.

SWEARINGEN, M. E.; HORVATH, R.; WHITE, M. J. Climate analysis for noise assessment. **Applied Acoustics**, v. 119, p. 50–56, 2017.

TANAKA, S.; SHIRAIISHI, B. Wind effects on noise propagation for complicated geographical and road configurations. **Applied Acoustics**, v. 69, n. 11, p. 1038–1043, 2008.

TANG, S. K.; TONG, K. K. Estimating traffic noise for inclined roads with freely flowing traffic. **Applied Acoustics**, v. 65, n. 2, p. 171–181, 2004.

TANSATCHA, M. et al. Motorway noise modelling based on perpendicular propagation analysis of traffic noise. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 10, p. 1135–1150, 2005.

THORSSON, P. J.; ÖGREN, M. Macroscopic modeling of urban traffic noise – influence of absorption and vehicle flow distribution. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 2, p. 195–209, 2005.

THORSSON, P. J.; ÖGREN, M.; KROPP, W. Noise levels on the shielded side in cities using a flat city model. **Applied Acoustics**, v. 65, n. 4, p. 313–323, 2004.

WALERIAN, E.; JANCZUR, R.; CZECHOWICZ, M. Efficiency of screen application in built-up area. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 511–521, 2011.

WALERIAN, E.; JANCZUR, R.; CZECHOWICZ, M. The role of mutual screening by vehicle bodies in traffic noise propagation throughout a built-up area. **Applied Acoustics**, v. 76, p. 291–299, 2014.

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**, v. 72, n. 8, p. 556–568, 2011.

WG-AEN. **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**, v.2, 2007. Disponível em <<http://sicaweb.cedex.es/docs/documentacion/Good-Practice-Guide-for-Strategic-Noise-Mapping.pdf>> Acesso em 29 jul. 2018.

ZHAO, J.; ZHANG, X.; CHEN, Y. A novel traffic-noise prediction method for non-straight roads. **Applied Acoustics**, v. 73, n. 3, p. 276–280, 2012.

ZHAO, W.-J. et al. 3D traffic noise mapping using unstructured surface mesh representation of buildings and roads. **Applied Acoustics**, v. 127, p. 297–304, 2017.