



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A016

Mapa de ruido de barrios densamente poblados – Ejemplo de Copacabana, Rio de Janeiro - Brasil

Fernando A.N.C. Pinto,
Maysa D. Moreno M.

Universidade Federal do Rio de Janeiro – Depto./Progr. Engenharia Mecânica.
Centro de Tecnologia – Bloco G sl. 204 – Cidade Universitaria – Rio de Janeiro RJ – Brasil
CEP 21949-900
E-mail: fcpinto@ufrj.br
E-mail: maysamoreno@yahoo.com

Abstract

Copacabana is one of the most famous neighbourhoods of Rio de Janeiro but suffers from a too high inhabitant density. One of the environmental problems faced is related to noise pollution. In order to assess not only the noise levels, to which the population is exposed, but also to quantify the influence of architectural aspects, the paper presents the steps taken towards a simulation of the noise emissions and propagation in this area. The results of the simulation are compared to measurements in different locations and daily-hours. The discrepancies are analysed and the methodology is discussed in view of its application to a huge urban center like the city of Rio de Janeiro.

Resumen

Copacabana es uno de los barrios más famosos de la ciudad de Río de Janeiro, por lo mismo sufre de una alta densidad de habitantes. Uno de los muchos problemas ambientales enfrentados está relacionado con la contaminación acústica. Con el objetivo de evaluar los niveles de ruido a los que está expuesta la población, este trabajo presenta las medidas adoptadas para una simulación de las emisiones de ruido y de la propagación en esta área. Los resultados de la simulación se comparan con mediciones en diferentes lugares y horas del día. Las discrepancias son analizadas y se discute la metodología para la aplicación en un gran centro urbano como la ciudad de Río de Janeiro.

1 Introducción

El ruido urbano está directamente relacionado con las actividades humanas, especialmente con el proceso de urbanización, desarrollo del transporte y de la industria.

Copacabana es uno de los barrios más famosos de Rio de Janeiro. A partir de la década de 60, la creciente fama atrajo más habitantes de lo que el área podría comportar de forma confortable y Copacabana sufrió con el crecimiento inmobiliario.

Esta alta densidad poblacional y turística durante todo el año trae consigo un aumento de la contaminación acústica, principalmente en los grandes centros urbanos.

Este aumento de contaminación acústica es insostenible, necesitando ser reducido y controlado, pues la contaminación acústica no solo es una fuente de incomodo para la población, sino también un problema de salud pública.

Debido a la alta densidad de habitantes y gran concentración de fuentes de ruido, los grandes espacios urbanos representan desafíos metodológicos importantes en la elaboración del mapa de ruido en el sentido de el mismo traducir correctamente la situación del ruido ambiente.

Debido a lo complejo y caro que es medir la situación acústica de un lugar, se pretende hacer una simulación a través de un software de predicción que informa la situación del lugar en forma más rápida. Es evidente que los resultados de la simulación deben ser comparados con mediciones reales, que a su vez pueden ser utilizadas para calibrar el modelo.

En algunos países europeos algunos estudios relacionados con mapas de ruido se han llevado a cabo recientemente, desde que se convirtió en un aspecto importante de la política comunitaria de medio ambiente. La ciudad de Cáceres en España (Barrigon et al. 2002), así como la ciudad de Messina en Italia (Piccolo et al. 2005) son ejemplos de este tipo de estudios.

La legislación ambiental en Sudamérica aun no impone la realización de mapas de ruido. De hecho, el ruido urbano en Brasil, aún no es reconocido como un serio problema ambiental por el Gobierno, a pesar de los reclamos por causa del ruido ser citado entre las principales asuntos tratados por juntas directivas de medio ambiente de grandes ciudades como Rio de Janeiro y São Paulo. La ciudad de Curitiba en Brasil (Zannin et al. 2002) y Valdivia en Chile (Sommerhoff et al. 2004) son ejemplos de estudios de ruido comunitario llevados a cabo con la ayuda de mapas de ruido. No obstante, el uso de mapas de ruido en este contexto es bastante raro en América del Sur, en general, y en Brasil en particular.

2 Mapas de ruido

El mapa de ruido es una herramienta que entrega información visual del comportamiento acústico de un área geográfica, en un momento determinado. No debe ser considerado como un fin en si, sino como herramientas para mejorar o preservar la calidad del ambiente sonoro. También es una excelente herramienta para la planificación urbana.

El uso de la técnica de mapas de ruido como herramienta de planificación permite, entre otras cosas (Santos y Valado 2004):

- cuantificar el ruido en el área en estudio y la posibilidad de evaluar la exposición de la población expuesta.
- crear una base de datos, para planificación urbana: localización de actividades ruidosas y de zonas mixtas y sensibles.
- Modelar diferentes escenarios de evolución futura y realizar la previsión del impacto acústico de infraestructuras y actividades ruidosas aun en proyecto.

En Europa, la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de Junio de 2002 relacionada con la Evaluación y gestión del ruido ambiente impone a los Estados Miembros de la Directiva con más de 250.000 habitantes a elaborar mapas de ruido hasta el 30 de Junio de 2007 los cuales serán revisados y modificados cada cinco años a partir de la fecha de elaboración.

En Brasil aun no es exigida la confección de mapas de ruido. Específicamente en el caso de Rio de Janeiro la legislación apenas prevé niveles máximos aceptables de ruido dependiendo del tipo de ocupación o del tipo de zona. Esta legislación se apoya en la legislación federal correspondiente que trata el problema de forma semejante.

La elaboración de mapas puede ser hecha a través de mediciones reales en puntos previamente determinados, a través de predicción, mediante simulación que considera diversos factores que afectan en el ruido o un sistema mixto, donde las simulaciones se complementan e verifican con las mediciones reales.

3 Simulación acústica

Hasta la actualidad han sido desarrolladas muchas herramientas de simulación acústica que revolucionaron el mundo de la predicción y análisis de los factores acústicos, gracias al uso de ecuaciones complejas y cálculos recursivos, lo cual solamente un computador podría realizar con relativa facilidad, en lo que se refiere al tiempo de cálculo y a los recursos necesarios. Además, las aplicaciones de simulación son cada vez más potentes, permitiendo realizar un análisis más confiable en menor tiempo (Tarrero et al. 2005).

Un estudio exhaustivo del impacto acústico considera una infinidad de parámetros mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros necesarios para un estudio de impacto acústico.

Fuente	Ruido de tráfico	Tipo de vehículo
		Tipo de motor
		Velocidad media
	Ruido industrial	
	Ruido ferroviario	
Entorno	Tipo de asfalto	
	Altura de los edificios	
	Ancho de las calles	
Parámetros meteorológicos	Humedad	
	Temperatura	
Parámetros demográficos	Población por vivienda	
	Viviendas por edificio	

4 Programa de simulación

Para crear el mapa de ruido de Copacabana fue utilizado el programa de computador CADNA-A. CADNA-A es un programa para cálculo y presentación de niveles de ruido

ambiental, así como de predicción y asesoría en relación a la contaminación acústica. Trabaja en Windows con interfase de usuario simple, lo que no impide que sea un programa potente y rápido, incorpora tecnología PCSP (Parallel Controlled Software Processing), lo que supone la posibilidad de trabajar en paralelo en un mismo proyecto o en varios mediante una red de computadores interconectados entre si en una red de área local.

Existen varios softwares comerciales que pueden ser utilizados para realizar simulación acústica al aire libre con el fin de evaluar el impacto ambiental. Algunos ejemplos son los programas de Mithra, SoundPlan, CADNA-A, Predictor, LIMA, ENM, etc. Todos estos programas funcionan en forma independiente, sus diferencias están relacionadas con el tipo de geometría y la topografía de datos que pueden ser importados. El cálculo de la propagación del ruido es basado en diferentes procedimientos y normas nacionales que se aplican, y pueden ser diferentes de software para software.

CADNA-A considera normas internacionales para los cálculos. Cada tipo de fuente de ruido, ya sea carretera, ferrocarril, o en general cualquier fuente puntual, linear o área se considera de acuerdo con la normativa válida para cada tipo de fuente. Como la normativa brasileña no impone reglas, para tener en cuenta la propagación, reflexión, difracción y otros efectos para obtener mapas de ruido de las simulaciones, este trabajo es basado en las directrices de control de ruido en las carreteras (RLS-90) publicado por el Ministerio Federal Alemán de Transporte.

Con el CADNA-A es posible obtener valores estadísticos de impacto acústico en la población con presentaciones gráficas en mapas horizontales, verticales y en fachadas.

5 Descripción del sector de análisis

Debido a la alta concentración de población, comercio y de vehículos particulares y de locomoción colectiva, el sector a ser estudiado es el barrio de Copacabana, en la Zona Sur de Rio de Janeiro. Primero fue hecha una simulación del barrio en forma general, considerando el volumen de tráfico diario, la velocidad media, el ancho de las calles, el tipo de asfalto y la altura de los edificios. Con el fin de comparar los valores simulados con mediciones reales, fue considerado un sector menor dentro del mismo barrio.

5.1 Simulaciones

En primer lugar son ingresados como datos de entrada los mapas topográficos. El modelo del CAD de Rio de Janeiro es la base de datos geométrica usada para las simulaciones presentadas en este trabajo y no incluye solamente la topografía del lugar, sino también las alturas de los edificios. Este tipo de información está ahora disponible para la mayoría de las grandes metrópolis. Una vez obtenida la información sobre la geografía del lugar y las edificaciones, son identificadas las fuentes de ruido. En este caso la principal fuente de ruido es el tráfico de vehículos. Esta es caracterizada por diversos parámetros (tipo de vehículos, número de vehículos) y el entorno (altura de los edificios, tipo de pavimento, ancho de las calles...) influencia en la propagación del ruido. Con todos estos datos el programa calcula el mapa de ruido de la zona seleccionada. Para comprobar su veracidad, los valores simulados son comparados con mediciones experimentales.

Una vez que todos los parámetros del sector son introducidos, el software entrega el mapa de ruido mostrado en la figura 1, que corresponde al mapa de ruido a 4 metros de altura conforme la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo. La Figura 2 muestra una fotografía aérea de la misma región.

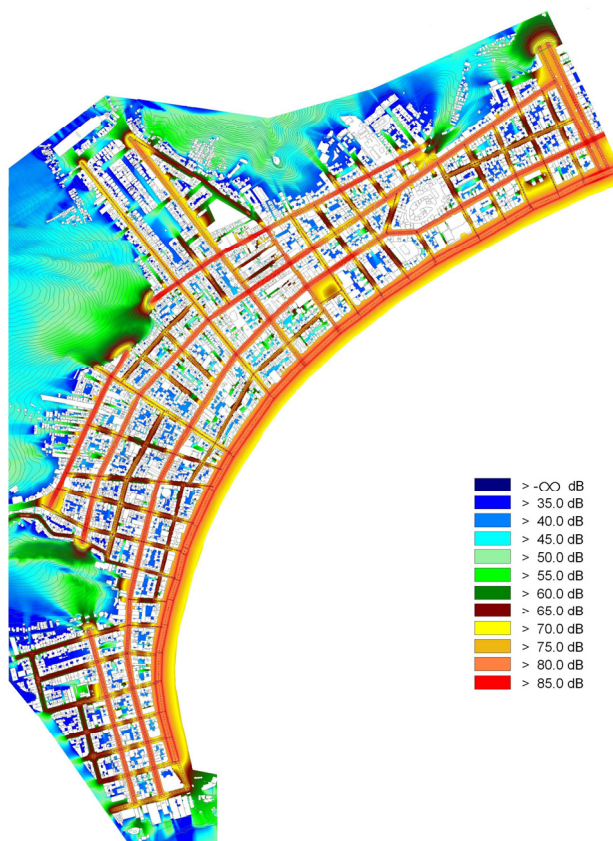


Figura 1. Mapa de ruido de Copacabana

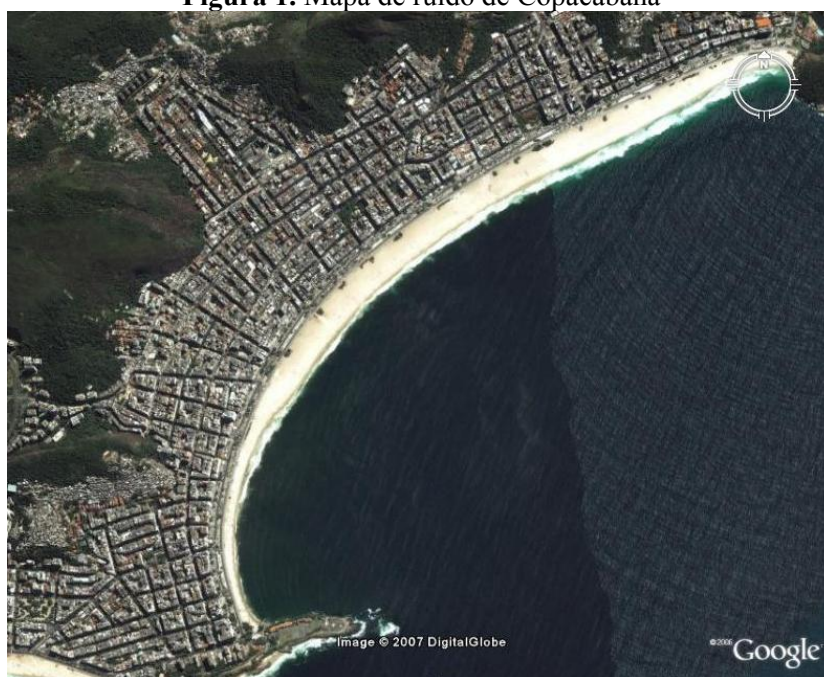


Figura 2. Foto aérea de Copacabana

Para establecer una comparación entre los resultados de la simulación y los datos medidos reales fue seleccionado un sector menor dentro del barrio de Copacabana. Este sector corresponde a la zona central do barrio de Copacabana, entre la Avenida Atlântica y la Calle

Toneleros y las calles Raimundo Corrêa y Siqueira Campos. Fue escogido este sector debido a la alta incidencia de locomoción. Los datos de volumen de tráfico fueron facilitados por la Compañía de Ingeniería de Tráfico de Rio de Janeiro. La simulación de este sector fue en la altura de 1,5m para poder ser comparado con mediciones reales. La figura 3 muestra una foto aérea del sector indicando el nombre de las calles.



Figura 3. Foto aérea de un sector de Copacabana

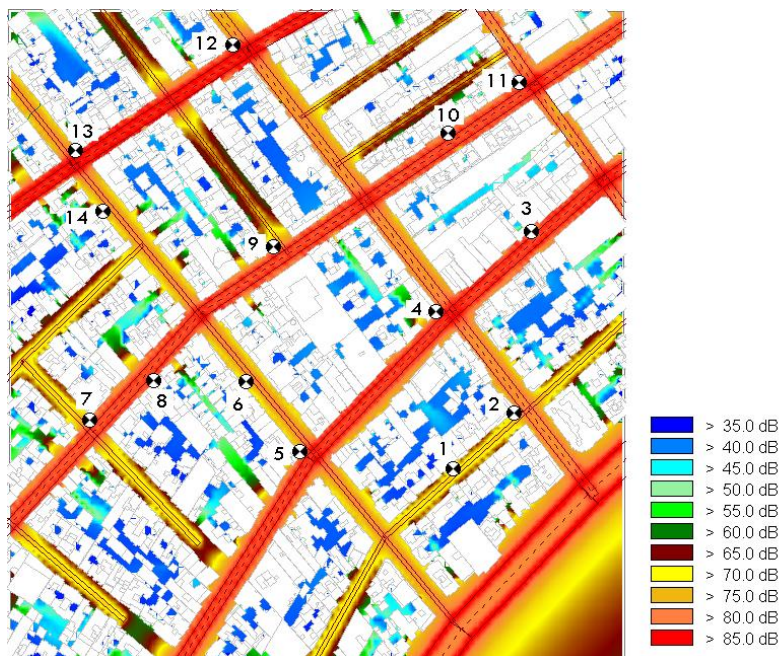


Figura 4. Simulación del sector de Copacabana

5.2 Mediciones experimentales

Las mediciones experimentales consisten en la medición del nivel de presión sonora equivalente (*Leq*) en cada punto receptor. La Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de Rio de Janeiro adoptó los niveles equivalentes como métrica para la evaluación de las fuentes de ruido ambiental.

El nivel de presión sonora continuo equivalente para un determinado punto de medición de un ruido variable en el tiempo en un intervalo de tiempo determinado es igual al nivel de ruido estable que correspondería a la misma energía acústica durante ese intervalo de tiempo.

El *Leq* puede ser usado tanto para medir ruidos continuos como el ruido de tráfico vehicular cuanto otros como el ruido industrial, por ejemplo, también es útil cuando se comparan dos situaciones de ruido semejantes (WHO 1999).

Para realizar las mediciones experimentales fueron considerados 14 puntos dentro del sector del barrio de Copacabana (Tabla 2, Figura 4). Las mediciones fueron realizadas en tres periodos de tiempo, mañana, tarde y noche y en días diferentes de la semana en cada punto. Los receptores están situados a 1,5m de altura sobre o nivel del suelo.

Tabla 2. Puntos de medición de *Leq* en el sector del barrio de Copacabana

Ponto	Localização	Medição dB(A)	Simulação dB(A)	Diferença dB(A)
01	Domingos Ferreira 76	65.1	65.7	0.6
02	Domingos Ferreira/Figueiredo Magalhães	67.4	69.8	2.4
03	Av.N.S.Copacabana 610	76	78.2	2.2
04	Av.N.S.Copacabana/Figueiredo Magalhães	74.3	74.7	0.4
05	Av.N.S.Copacabana/Santa Clara	73.5	73.6	0.1
06	Santa Clara 98	70.5	70.6	0.1
07	Av. Barata Ribeiro/ Raimundo Corrêa	73.8	72.5	-1.3
08	Av. Barata Ribeiro 535	74.8	76.7	1.9
09	Av. Barata Ribeiro/ Anita Garibaldi	71.8	73.3	1.5
10	Av. Barata Ribeiro 432	77.6	77.4	-0.2
11	Av. Barata Ribeiro/ Siqueira Campos	73.6	75.6	2
12	Rua Tonelero/Figueiredo Magalhães	71.7	75.8	4.1
13	Rua Tonelero/Santa Clara	71.5	72.3	0.8
14	Santa Clara 161	68.3	67.3	-1

Para realizar las mediciones fue utilizado un sonómetro Bruel & Kjaer Type 2233 previamente calibrado.

5.3 Comparación de resultados

Analizando los resultados vemos que las diferencias entre los valores medidos y reales son muy pequeñas siendo menores que 2 dB. Las excepciones son el punto 12, en la esquina de la calles Tonelero y Figueiredo Magalhães, donde hay una diferencia de 4,1dB, el punto 02, en la esquina de las calles Domingos Ferreira y Figueiredo Magalhães con 2.4 dB y el punto 03 en la Av. Nossa Senhora de Copacabana 610, entre las calles Figueiredo Magalhães y Siquiera Campos con 2.2 dB. Cabe señalar aquí que estas pequeñas diferencias entre la simulación y las mediciones son aceptables, pues no se hizo ninguna corrección al modelo. Los resultados de la simulación se basan en la información facilitada por CET-Rio sobre el

volumen de tráfico. A pesar de ser datos oficiales podrían ser un poco inexactos para las condiciones reales de Copacabana.

En el punto 12, la estación del metro Siqueira Campos aparece como una fuente importante, que no se consideró en la anterior simulación, lo que justifica la diferencia. Futuras simulaciones deben considerar esta fuente. Los puntos 02 y 03 se encuentran en una región de bajo volumen de tráfico en las calles Figueiredo Magalhães y Nossa Senhora de Copacabana, por lo tanto, son más sensible a las fluctuaciones del número de vehículos que pasan por él durante las mediciones reales, en comparación con el nivel de ruido estadístico obtenidos de la simulación. Un período más largo para la medición de ruido, o una mirada más cercana a la real del tráfico en la calle que parte podrá recurrir la diferencia con respecto a un valor inferior a 2 dB.

De acuerdo con el Zoneamento Urbano de 1999 de la Prefeitura de Rio de Janeiro, mostrado en la figura 5, la Región Administrativa de Copacabana corresponde a Zona Residencial 2, Zona Residencial 3 e Zona Turística 1, además de contener Centros de Barrio 1, 2 e 3.

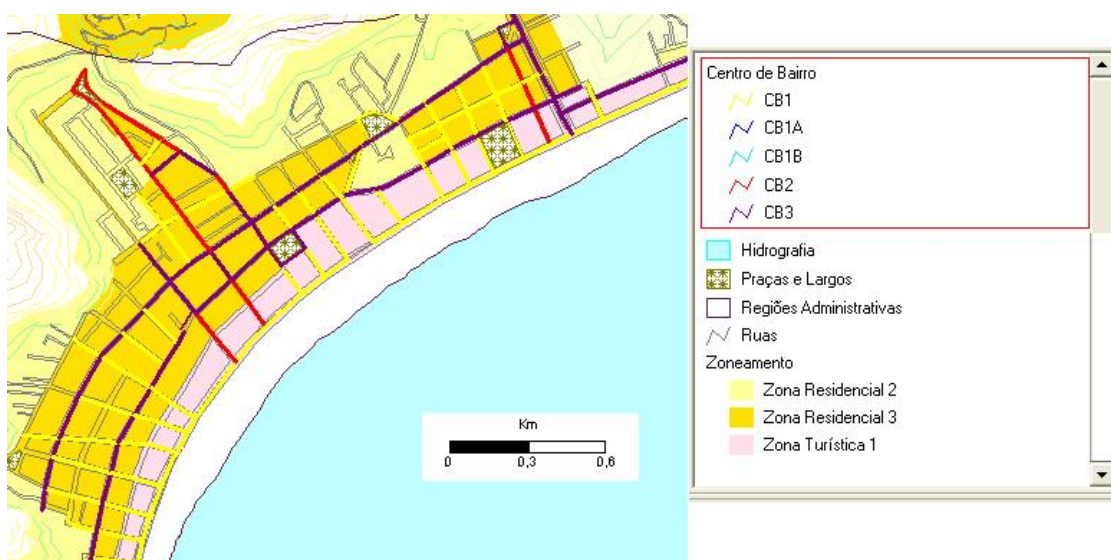


Figura 5. Zoneamento Urbano de Copacabana

El Decreto N° 5.412, de 24 de octubre de 1985 indica que los niveles de ruidos máximos permitidos en estas zonas son:

Tabla 3. Limites de ruido permitido por zonas

Zonas	Ruido Máximo Permitido Diurno	Ruido Máximo Permitido Nocturno
Zona Residencial-2	55	50
Zona Residencial-3	60	55
Zona Turística-1	65	60
Centro de Barrio 1	60	55
Centro de Barrio 2	65	55
Centro de Barrio 3	65	60

Por otra parte, la norma brasileña NBR 10151/2000 indica los niveles máximos de ruido externo, en dB (A), en función del tipo de uso de la tierra como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Niveles de ruido permitidos según la NBR 10151/2000

Tipos de Usos	Período Diurno	Período Nocturno
Residencial Urbano	55	50
Zonas de comercial y administrativa	65	60

Siendo así, podemos constatar que todos los puntos seleccionados se encuentran con niveles de ruido superior a los permitidos.

6 Evaluación de recursos

Para poder cuantificar las dificultades y el esfuerzo necesario en la creación del mapa de ruido de Copacabana vamos a considerar las horas de simulación, los días y horas de mediciones y los equipamientos necesarios.

Sabemos que una de las principales ventajas del uso de la simulación como herramienta para crear un mapa de ruido es la reducción en el tiempo de trabajo y costo.

Para realizar este trabajo fue utilizado el Software de Simulación CADNA-A, los equipos utilizados fueron un computador, sonómetro Bruel & Kjaer Type 2233 y calibrador.

El barrio de Copacabana tiene un área de 7,84 km² y además del alto flujo vehicular tiene una enorme cantidad de edificios lo cual significa una gran cantidad de datos a ser procesados. Considerando esta situación, para hacer la simulación del barrio entero, el mismo fue dividido en nueve sub-sectores los cuales posteriormente fueron unidos.

El tiempo total de simulación del barrio todo fue de aproximadamente dos semanas. En el caso del sector menor del barrio de Copacabana, el tiempo de simulación fue de 4 horas.

De las mediciones realizadas, fueron consideradas 112. Las mediciones de *Leq* fueron realizadas durante diferentes días de la semana, de mañana, tarde y noche.

7 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que el ruido ambiental es un problema importante en el barrio de Copacabana en Rio de Janeiro. El sector estudiado, el cual es caracterizado por una alta densidad poblacional e vehicular, presenta niveles más altos que los recomendados nacional e internacionalmente. El análisis de los resultados muestra que los niveles de ruido en todos los puntos medidos del barrio de Copacabana se encuentran sobre los niveles permitidos y que la principal causa de esto es el ruido de tráfico.

La tecnología de mapeamiento de ruido demuestra ser una excelente herramienta para tratar el problema de contaminación sonora. Las simulaciones para obtener un mapa de ruido son herramientas poderosas a ser usadas en el planeamiento urbano. Muchos parámetros deben ser conocidos previamente o identificados para servir como base para la correcta representación de los efectos físicos. El modelo correcto de las fuentes sonoras juega el papel más importante en los resultados.

Los mapas de ruido en pequeña escala, como en el caso del barrio de Copacabana, en Rio de Janeiro, constituye un primer paso para que a largo plazo sea hecho un trabajo en toda la región, como en el caso de Europa.

Otro factor importante a ser considerado en trabajos futuros, es un estudio del número de habitantes que son afectados por los niveles de ruido.

CADNA-A es un excelente software de simulación, que permite simular el ambiente acústico de un sector determinado caracterizando las fuentes y el entorno.

Comparando los datos medidos con los simulados vemos una excelente concordancia.

Referencias

- Barrigon, J. M.; Gómez, V.; Méndez, J. A.; Vilchez, R.; Trujillo, J. (2002). "An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain". *Applied Acoustics*, 63, 1061 - 1070.
- Decreto nº 1.601 de 21 de junho de 1978
- Decreto nº 5.412 de 24 de outubro de 1985
- Directive 2002/49/EC of the European parliament and of the council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. *Official Journal of the European Communities* no L 189 de 18/07/2002 (pp. 012 - 0026).
- CADNA Manual V3.4 Datakustik GMBH. Greifenberg, Germany
- NBR 10151/2000 Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento.
- Piccolo, A.; Plutino, D.; Cannistraro, G. (2005). "Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy". *Applied Acoustics*, 66, 447 - 465.
- Pinto, F.A.N.C.; Slama, J.; Isnard, N. (2005). "Sensitivity of noise mapping results to the geometric input data". *Rio Internoise 2005/the 2005 Congress and Exposition on Noise Control engineering*, work #1847. Rio de Janeiro, Brazil.
- Santos, L.C.; Valado, F. (2004). "O mapa de ruído Municipal como ferramenta de planeamento". *Acústica, Guimarães, Portugal*, Paper ID:162.
- Sommerhoff, J.; Recuero, M.; Suarez, E. (2004). "Community noise survey of the city of Valdivia, Chile". *Applied Acoustics*, 65, 643 - 656.
- Tarrero Fernández, A.I.; Martín Bravo, M.A.; González Suárez, J.; Machimbarrena Gutiérrez, M.; Cebrián Velasco, J. M.; Sanz Marcos, H. (2005). "Comprobación de la bondad del software de simulación acústica Cadna-A". *TecniAcústica Terrassa 2005*. PACS:43.50.Sr
- World Health Organization, WHO (1999). *Guidelines for community noise*. In B. Berghund, T. Lindvall, D. H. Schela (Eds.), <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>.
- Zannin, P.H.T.; Diniz, F.B.; Barbosa, W. A. (2002). "Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil". *Applied Acoustics*, 63, 351 - 358.
- Zoneamento Urbano da cidade do Rio de Janeiro, Brazil. (1999).