



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

FIA2008-A199

## Actualización del mapa acústico de Belém a través del Método de Cálculo Matemático Predictivo

Elcione Moraes<sup>(a)</sup>,  
Francisco Simón<sup>(b)</sup>.

(a) Universidade da Amazônia – UNAMA. Tv. Alcindo Cacela, 287. Belém – Pará – Brasil. E-mail: elcione@hotmail.com

(b) Instituto de Acústica, CSIC- Calle Serrano, 144. Madrid - España. E-mail: psimon@ia.cetef.csic.es

### Abstract

Acoustic Map of Belém has been elaborated by means of in situ measurements all over the streets of the city. However, This adopted method is a very laborious and expensive work. With the aim of reduce the necessary effort to update the map and extend it to other areas in the town a mathematical simulation software has been used, where road traffic has been taken into consideration, as the only sound source. Nevertheless, the used of simulation programs require the input of precise data about road traffic flow for different kind of vehicles. In this sense, the available information on the traffic flow in the city is scarce, except for the flow of buses in their routes. So, to estimate the total traffic flow it has been considered the flow of buses as the main sound source. Later on, the rest of the traffic in each street has been considered as a fitting parameter of the sound pressure level measured along the town. In addition, other aspects of urban design as the architecture of buildings, and the hierarchy of the road have been considered as leading factors of the general traffic flow in the streets. In the present work the calculated acoustic map of Belém is presented together with the strategy for traffic flow estimation.

### Resumen

El mapa acústico de Belém ha sido elaborado mediante mediciones en las calles de la ciudad. Sin embargo, el método adoptado exige un laborioso y costoso trabajo. Con el objetivo de minimizar la labor en la toma de datos, se ha actualizado el referido mapa con el uso de un modelo de cálculo matemático de simulación informática, teniendo en consideración, como única fuente sonora, el tráfico rodado. No obstante, el programa de simulación utilizado requiere la introducción de datos precisos del tráfico de vehículos. En este sentido, la información disponible sobre el flujo de tráfico en la ciudad es escasa, con excepción del flujo de autobuses en los trayectos de sus líneas. Así, para la estimación del tráfico total se ha considerado el flujo de autobuses como principal fuente sonora, para después utilizar el nivel sonoro medido por punto, como variable donde el parámetro de ajuste era el tráfico general en cada calle. Además, se ha considerado, aún, la arquitectura del lugar y la jerarquía de la vía como determinantes del volumen de tráfico general en cada calle. En el presente trabajo se expone el mapa acústico de Belém calculado a partir de la estrategia arriba descrita.

## 1 Introducción

La gestión del ruido ambiental urbano, y la adopción de medidas de ámbito general, involucra el diagnóstico del panorama sonoro local, mediante la elaboración de mapas de ruido, y la adopción de planes de acción, con medidas de amplio alcance. (Directiva, 2002).

Sin embargo la política del ruido ambiental en Brasil, todavía es bastante tímida, necesita pasar por profundas transformaciones, especialmente en lo tocante a la normativa. Las normas actuales son superficiales y de poco alcance. La elaboración de mapas de ruido, la implantación de planes de acción para la prevención y el control del ruido es de carácter voluntario, a pesar de que el problema de la contaminación sonora alcanza límites casi intolerables en las grandes ciudades del país.

La ciudad de Belém tiene ya, desde el 2004, el mapa acústico de la ciudad, MAB, elaborado por el método de medición “*in situ*”. El MAB ha tenido un gran alcance político y social en el país, además de diagnosticar los niveles de ruido en los barrios de la 1ª Legua Patrimonial de Belém (centro de la ciudad), ha provocado el reconocimiento de su importancia para la preservación del ambiente urbano.

No obstante, la elaboración del MAB no ha sido una tarea sencilla. El alto costo y el laborioso método de mediciones adoptado no hacen viable su actualización o ampliación. Por este motivo se lo ha actualizado a través de método de cálculo de predicción. En este trabajo se presenta este método.

## 2 La ciudad de Belém

La ciudad de Belém es la capital del Estado del Pará, está localizada en la región Norte de Brasil en la parte septentrional de la Amazonía brasileña, a 1°28” latitud sur, 48°27” longitud oeste y 24 m de altitud por encima del nivel del mar. Segundo Nascimento (1995), debido a que Belém está en la zona ecuatorial húmeda su clima se caracteriza por altas temperaturas, vientos con poca velocidad, intercalados con calmas frecuentes, altos índices de humedad relativa del aire y abundantes precipitaciones. Además, debido a su baja latitud, la radiación solar incide en planos prácticamente verticales durante todo el año, elevando, así, el calor. No hay grandes variaciones estacionaria térmicas, es decir, la amplitud térmica es tan pequeña que no determina diferencias entre el periodo cálido y frío.



**Figura 1.** Mapa de Brasil con la localización de la ciudad de Belém.



$$L_{lt,per} = L_{dw} - C_m \quad (1)$$

$$L_{dw} = L_w - r - A$$

$L_{lt,per}$  = Nivel en octavas (ó 1/3 de octava) a largo plazo en dB(A) durante el periodo de evaluación.

$C_m$  = Corrección debido a las variables meteorológica en dB.

$L_{dw}$  = Nivel continuo equivalente por acción del viento en octava (ó 1/3 de octava) NPS en dB.

$L_w$  = Nivel de potencia acústica de la fuente en dB por octava (ó 1/3 de octava), re1pW.

$r$  = Reducción definida por el usuario en dB por octava (ó 1/3 de octava).

$A$  = Atenuación (banda de octava) en dB por octava (ó 1/3 de octava).

La atenuación  $A$  es calculada a partir de de la fórmula (2):

$$A = D_c + A_d \quad (2)$$

$D_c$  = Corrección por directividad. en dB.

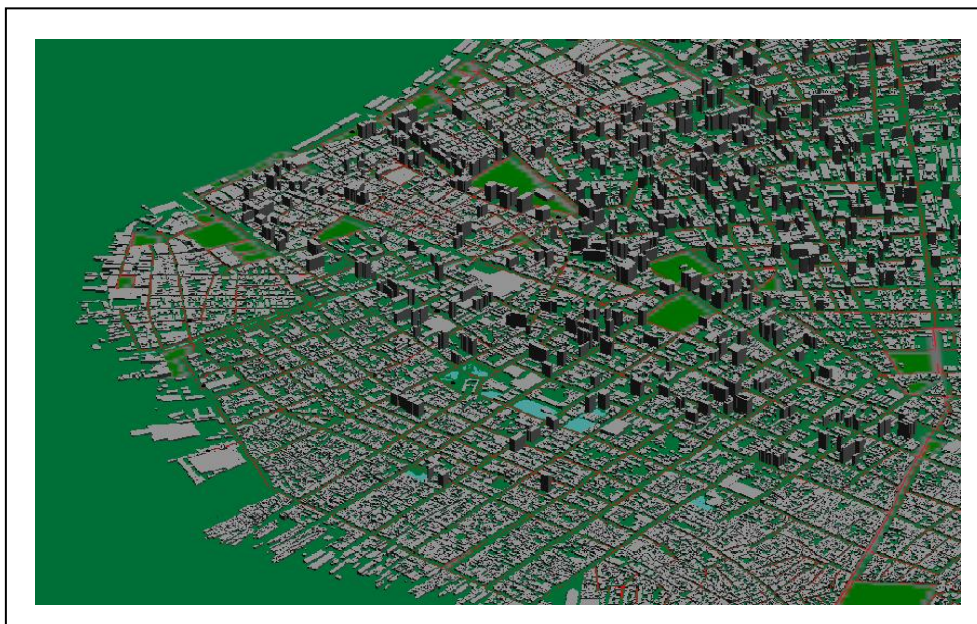
$A_d$  = Atenuación sonora debida a distintos efectos geográficos, como distancia, absorción en el seno del aire, presencia de obstáculos, efecto del suelo, etc.

### 3.1 Modelo utilizado

Para la realización de la predicción se ha introducido, en un modelo virtual 3D, todos los elementos relevantes en la propagación del sonido en el espacio abierto. Para ello se ha importado la base cartográfica de área de actuación desde el Autocad al *Predictor* considerando todas los elementos que dan lugar a la ciudad: la topografía del terreno; las edificaciones (introduciendo la altura de los edificios); la fuente de ruido por categoría de vehículos (en este caso el ruido de tráfico rodado), además de otros factores importantes como el tipo de asfalto y las variables meteorológicas.

Respecto a la introducción de la topografía del terreno se ha utilizado las curvas de nivel representadas en la cartografía original facilitada por la Compañía de Administración de la Región Metropolitana de Belém (CODEM).

Para la inserción de las edificaciones, la forma y la altura de cada edificio ha sido definida a partir de la base cartográfica indicada anteriormente. La referida base ha sido actualizada a partir de las fotografías generadas por satélite, disponibles en la página Web del Google Earth y de visitas "*in situ*".



**Figura 3.** Modelo 3D de la ciudad de Belém.

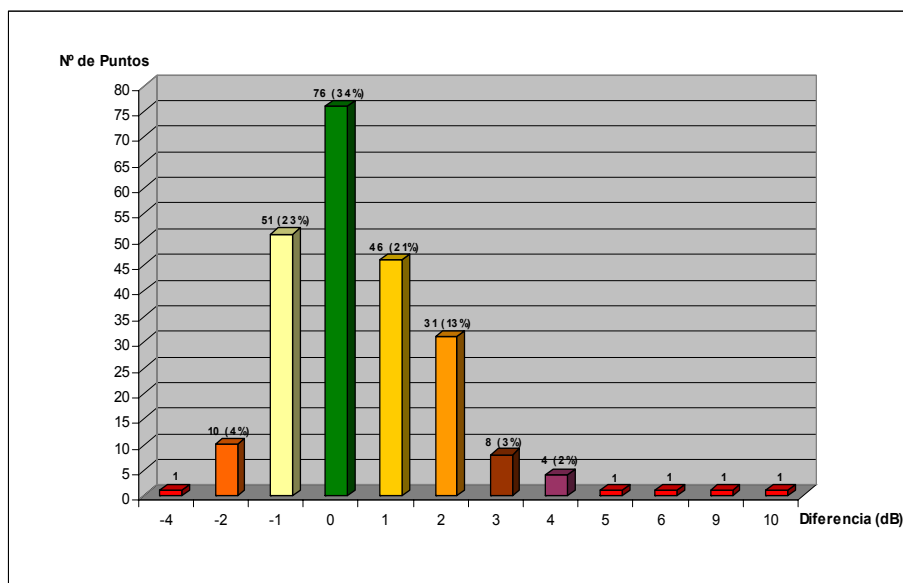
Respecto a la determinación de los aforos del tráfico (fuente de ruido considerada), debido a la escasa información sobre el número de vehículos en la ciudad, se ha tenido en cuenta el conteo realizado por el Plan para el Desarrollo del Transporte Urbano de Belém (PDTU 2001) en algunas de las principales vías de tráfico y el conteo llevado a cabo por la Compañía de Transportes Urbano de Belém (CTBEL) en algunas esquinas de gran flujo de vehículos. En ambos casos los datos eran insuficientes para caracterizar toda la zona de estudio, de modo que, se ha desarrollado una estrategia de extrapolación de los datos a las zonas carentes de la información necesaria.

La extrapolación consiste en utilizar el valor del nivel de presión sonora en los puntos medidos como el parámetro de ajuste. Es decir, en las calles en que se conocía el nivel de presión sonora, el número de coche, las características físicas (ancho, tipo de asfalto, altura media de los edificios) y el tipo de uso de la vía (residencial, comercial, mixta) se ha estipulado una categoría de calle, con lo cual, a otras calles con características similares se les asignaba un número de coches similares.

A parte de lo expuesto, y para comprobar la fiabilidad de la extrapolación, han sido realizados nuevos conteos manuales en algunos puntos importantes de la ciudad.

El cálculo de los niveles de ruido en las calles donde están los puntos de medición ha sido ajustado procurando que el error, con respecto a las medidas, estuviese acotado en  $\pm 2$  dBA.

La estrategia de extrapolación ha sido probada en todos los puntos de medición localizados en las vías públicas. El resultado de la extrapolación se puede ver resumido en la figura 4.



**Figura 4.** Gráfica con las diferencias (en dB) entre los niveles medidos y calculados.

Para el cálculos de la absorción del aire, en función de la influencia de las condicionantes meteorológicas, se ha considerado una temperatura del aire media de 301 K (28 °C), humedad relativa de 85 % y presión atmosférica de 101,33 kPa. El cálculo ha sido realizado considerando un radio máximo de búsqueda de fuente a 500 m del punto de cálculo (micrófono).

Para la realización del cálculo el nivel de ruido considerado ha sido el Nivel Equivalente Día  $L_D$  (7–20h) en dB. Se ha elegido una malla de 20 m  $\times$  20 m, lo que ofrece una gran definición del campo de niveles calculados, dado el tamaño de la ciudad, posicionada a una altura de 1,50 m del suelo.

Debido a la grande dimensión del área de estudio y el tiempo del cálculo, se ha dividida la ciudad por barrios y se los han calculados un a uno por separado. Se ha obtenido, así, el mapa de ruidos de curvas isofónicas para cada barrio de la ciudad que luego han sido unidos a través de un sistema de información geográfica, generando, por fin, el mapa acústico de Belém.

#### 4 Resultados

Han sido creados 18 mapas acústicos, correspondientes a cada barrio analizado, con los niveles equivalentes día  $L_{Day(7-20)}$ . En las figuras 5 y 6 se ilustran los mapas acústicos del barrio de Nazaré y Montese, el de mayor y menor nivel de contaminación sonora por el tráfico rodado, respectivamente.





**Figura 5.** Mapa acústico calculado del barrio de Nazaré, el más contaminado.



**Figura 6.** Mapa acústico calculado del Montese de Nazaré, el menos contaminado

### **Referencias**

Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, y la posterior recomendación de la comisión de 6 de agosto de 2003 relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales.

Moraes, Elcione; Lara, Neyla (2004). “Mapa Acústico de Belém”. FIDESIA, Belém, Brasil.

Nascimento, Cicerino (1995). “Clima e Morfologia Urbana de Belém”. Dissertação de mestrado. Ufpa-Numa, Belém, Brasil.

Plano Diretor para o Transporte Urbano de Belém (2001). Companhia de Habitação do Estado do Pará. Belém, Brasil.

Web de Google Earth, <http://earth.google.com/>