

## UM MÉTODO DE BAIXO CUSTO PARA OBTENÇÃO DOS DADOS DE FLUXO DO TRÁFEGO RODOVIÁRIO A PARTIR DE REGISTOS SONOROS

PACS: 43.50.Lj

Gameiro da Silva, Manuel C.; Mateus, Mário L. O. S.; Martins, Bruno G. P.  
ADAI – Departamento de Engenharia Mecânica  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra – Pólo II  
3030-201 Coimbra, PORTUGAL  
Tel. (351) 239 708 580 Fax: (351) 239 708 589  
E-mail: manuel.gameiro@dem.uc.pt, mario.mateus@adai.pt, bruno.martins@adai.pt

### ABSTRACT

A low price method to obtain data about road traffic was developed. This type of data is usually needed for the parameterization of sound emission models contained in the simulation programs used for the calculation of noise maps. The method is based on the digital signal processing of noise files registered in small digital recorders (pen-drive type) in the neighbourhood of roads. Two software applications were developed to analyze registered signals and allow the counting of passing vehicles and the determination of mean speed of vehicles.

### RESUMO

Apresenta-se um método económico de obtenção dos parâmetros que caracterizam o tráfego rodoviário. Estes dados são normalmente necessários para a parametrização dos modelos de emissão das fontes sonoras nas aplicações computacionais dedicadas ao cálculo dos mapas de ruído. O método é baseado na gravação em formato digital dos registos sonoros de passagem dos veículo junto às vias de comunicação que se pretendem avaliar. Os sinais obtidos são transferidos de forma rápida, através da porta USB para um computador onde são processados, de forma a obter as informações sobre o tráfego rodoviário, através de aplicações informáticas desenvolvidas para o efeito na linguagem de programação Labview.

O tratamento dos sinais obtidos a partir do microfone mono incorporado nos gravadores digitais permite a obtenção dos valores do tráfego total durante um um dado período, enquanto que a gravação através da entrada de linha em stereo de sinais de dois microfones, posicionados a uma dada distância um do outro, junto à estrada, permite a determinação da velocidade e do sentido de passagem dos veículos e a contagem do número de eixos dos veículos.

O método desenvolvido aplica-se e foi testado em registos obtidos em vias com situação de tráfego não congestionado.

**Palavras-chave:** Acústica ambiental, Ruído de tráfego rodoviário, Métodos de medida.

## **INTRODUÇÃO**

Os modelos de cálculo de emissão das fontes sonoras incluídos nas aplicações computacionais utilizadas para a obtenção dos mapas de ruído necessitam, como dados de entrada, de um conjunto de informações nem sempre disponíveis ou fáceis de conseguir. É este o caso dos dados de tráfego rodoviário nas estradas que muitas vezes não existem ou estão desactualizados. Assim, são necessárias contagens de tráfego que podem ser executadas de forma manual ou automática. As contagens manuais ficam caras porque envolvem muita mão de obra e, além disso, o trabalho em causa pode tornar-se fastidioso e ocorrer em períodos ou condições ambientais pouco convenientes. Quanto aos métodos de contagem automática actualmente existentes, o preço unitário dos sistemas de medida é suficientemente elevado para não se poderem utilizar muitos equipamentos em simultâneo, numa mesma área geográfica, o que implica tempos totais elevados para a boa caracterização da circulação rodoviária ou a opção por menos pontos de monitorização.

Apresenta-se neste artigo um método baseado num tipo de equipamentos, os gravadores digitais com possibilidade de ligação à porta USB, que, sendo um produto da chamada electrónica de consumo, estão disponíveis a preços muito económicos, o que viabiliza a realização de campanhas com vários pontos de recolha simultânea de informação.

## **SISTEMAS DE MEDIDA**

Os gravadores digitais utilizados são, no fundo, “pen-drives” às quais foram acrescentadas, pelos fabricantes, funcionalidades de gravação de som, quer a partir de um microfone incorporado, quer a partir de uma entrada de linha estereofónica. São aparelhos com um elevado grau de miniaturização, com uma capacidade de memória que pode ir, tipicamente, dos 128 Mb aos 20 Gb, e uma gama de preços que, actualmente, vai de cinquenta a trezentos euros. As reduzidas dimensões destes equipamentos permitem a sua colocação no interior de caixas plásticas do tipo utilizado para as denominadas caixas de derivação nas instalações eléctricas, que os protegem da intempérie e os dissimulam quando montados em postes à beira da estrada para efectuar campanhas de monitorização. O facto de possibilitarem uma gravação em formato digital e a transferência dos dados para um computador de forma rápida através da porta USB, permite o processamento rápido da informação recolhida de forma a obter os dados de tráfego pretendidos.

A quantidade de memória necessária para armazenar um dado ficheiro sonoro num destes gravadores digitais depende de um conjunto de parâmetros relativos ao processo de amostragem e gravação do sinal sonoro: a frequência de aquisição, o número de bits da conversão analógica digital e o formato de gravação dos dados. Nalguns casos, é possível ajustar a qualidade da gravação, através da escolha da frequência de amostragem do sinal sonoro. O limite inferior dessa frequência de amostragem é habitualmente de 8000 Hz. Como, para a identificação da passagem de um veículo, esta frequência de amostragem é mais do que suficiente, os aparelhos podem, para o tipo de aplicação em causa, ser configurados para ela, dado que assim se garantem tempos globais de recolha de informação, sem substituição do equipamento, mais elevados. Ainda assim, quando se pretende efectuar campanhas de medição de longa duração, é fácil gerar ficheiros de grande dimensão, pelo que a capacidade de memória requerida é muito elevada. Por exemplo, cada hora de registo de um sinal mono, em formato Wave, a uma frequência de aquisição de 8000 Hz, com uma conversão analógica-digital de 4 bits, ocupa cerca de 14 Mb.

Na figura 1 apresenta-se, a título de exemplo, um extracto com a duração de cerca de 10 minutos do registo de um sinal sonoro obtido por um gravador digital colocado à beira da estrada, no qual é possível identificar visualmente as passagens de 15 veículos. A imagem refere-se à visualização do sinal na aplicação computacional de processamento e tratamento de sinais sonoros Goldwave, que começou por ser utilizada pelos autores, numa fase preliminar do processo, para efectuar a contagem dos veículos. Em caso de dúvida sobre a ocorrência ou não da passagem de um veículo ou sobre a possibilidade de uma sequência de picos próximos corresponder a mais do que um veículo, a escuta do sinal permite clarificar as situações.

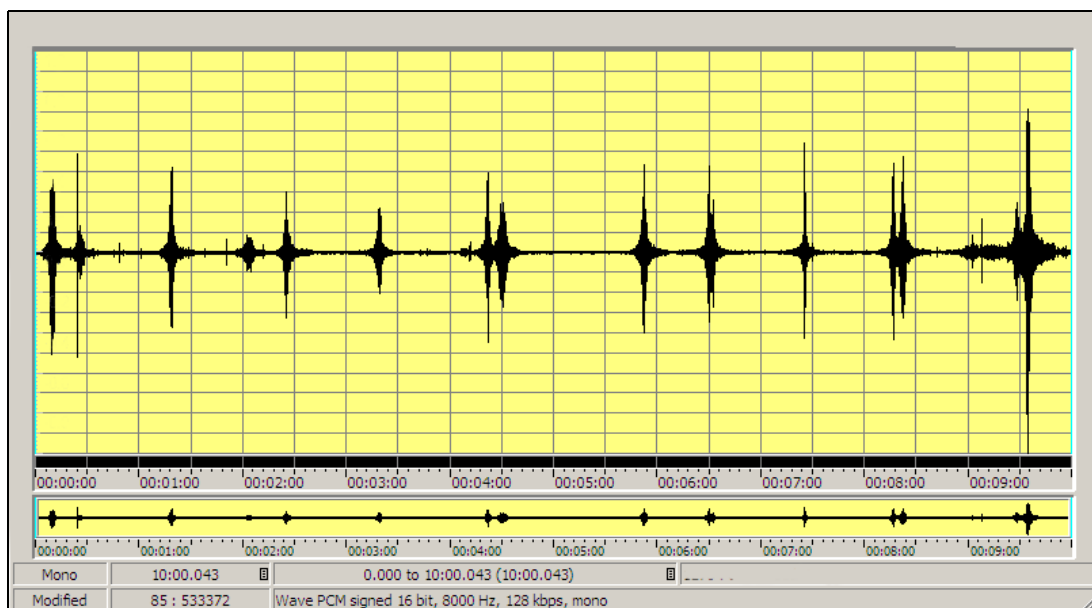


Figura 1 – Registo de 10 minutos do sinal sonoro obtido num gravador digital.

Se bem que a gravação do sinal sonoro e a posterior contagem manual, no laboratório, dos veículos passados, a partir da visualização dos registos sonoros, represente um ganho substancial em termos de tempo relativamente às contagens manuais efectuadas na estrada, o método pode ainda ser optimizado através do desenvolvimento de aplicações computacionais que efectuem, de forma automática as contagens, com base da análise dos ficheiros de dados recolhidos.

## APLICAÇÕES COMPUTACIONAIS

A contagem do número de ocorrências de passagem de veículos numa aplicação computacional de tratamento dos ficheiros contendo os registos sonoros baseia-se naturalmente na identificação de picos do nível de pressão sonora. Essa identificação tem associada alguns critérios como sejam, por exemplo, o tempo de permanência e a magnitude da situação de pico, que permitem destriçar as situações reais de passagem de veículo de algumas flutuações de curta duração do sinal atribuíveis a ruído electrónico ou outros fenómenos aleatórios. Para registos de média dimensão, como o extracto de sinal representado na figura 1, o método de contagem pode obedecer a uma sequência de tratamento de sinal em que começa por se calcular o valor do desvio padrão, em intervalos de curta duração, das flutuações de pressão do sinal sonoro; ao que se segue uma identificação dos picos através da localização das situações de inversão do sinal da primeira derivada de positivo para negativo. A dimensão ajustável do intervalo de tempo para o qual é calculado o desvio padrão funciona mais ou menos como a frequência de corte de um filtro passa-baixo, permitindo retirar as flutuações de frequência mais elevada e obter um pico único por ocorrência.

O problema principal na aplicação da metodologia anteriormente referida é a dimensão dos ficheiros, quando o tempo de recolha de dados é da ordem das horas ou mesmo de um ou mais dias. Fazer o processamento numa só corrida de um programa de processamento de dados de um ficheiro com dimensão superior às dezenas ou centenas de Mbytes, não é exequível em computadores comuns, pelo que tem que se utilizar uma outra estratégia.

A aplicação computacional desenvolvida pelos autores abre os ficheiros gravados em formato Wav e faz uma leitura sequencial por troços dos mesmos, sendo a dimensão individual de cada troço suficientemente pequena para permitir o seu manuseamento pela memória do computador. A primeira fase do processamento do sinal de cada troço consiste no cálculo e

gravação, num novo ficheiro de dimensão muito menor, da sua envolvente superior (linha de máximos). Consegue-se um traçado de muita boa qualidade da linha de máximos com cerca de 100 pontos por segundo, pelo que, desta forma, é possível reduzir 80 vezes a dimensão do ficheiro inicial gravado com uma frequência de amostragem de 8000 Hz.

Na figura 2 exemplifica-se o método anteriormente descrito para o sinal apresentado na figura 1. O sinal inicial é lido em troços com uma dimensão de 0.9 Mbyte, sendo cada um deles substituído pela sua envolvente superior (linha de máximos), como se exemplifica para o caso do primeiro troço. A identificação dos picos é seguidamente realizada, como já referido, pela localização dos pontos de anulação da primeira derivada, na sua passagem de sinal positivo para negativo.

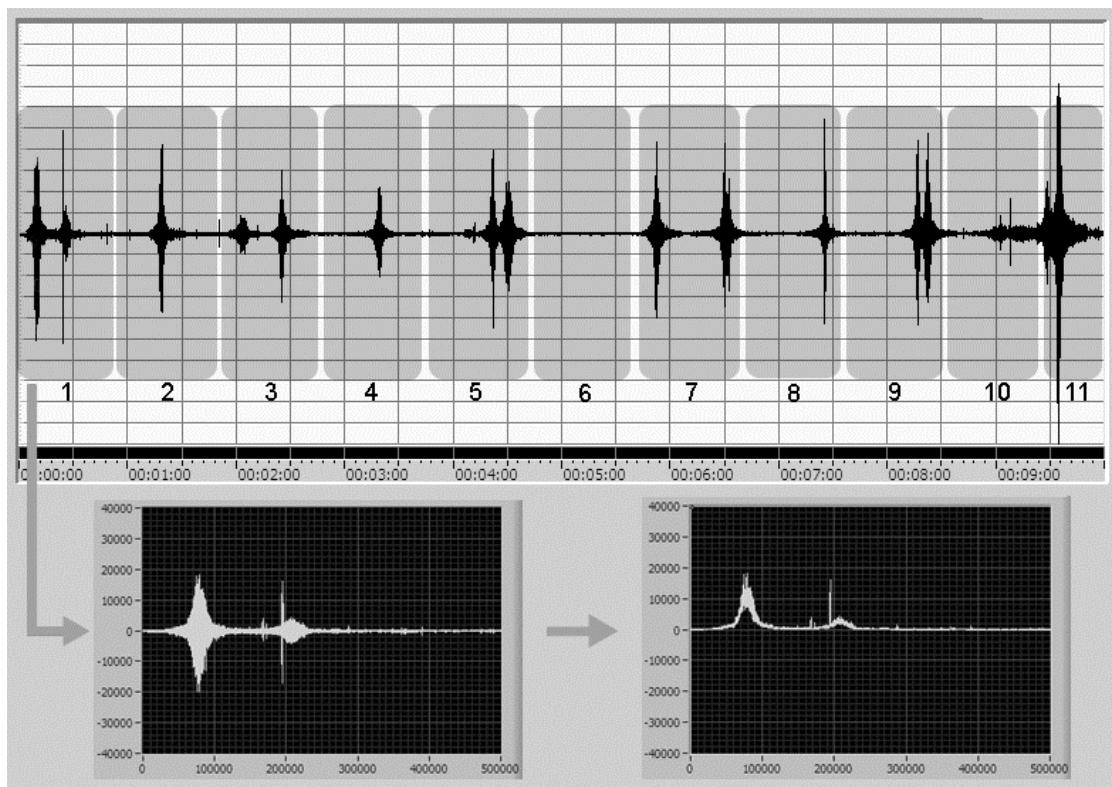


Figura 2 – Exemplificação do método de leitura parcelar e sequencial dos ficheiros dos registos sonoros e da determinação da envolvente de máximos

Na interface gráfica de comunicação com o utilizador, este pode definir, quer a magnitude mínima, quer o tempo mínimo de ocorrência, para que um pico seja considerado. Na figura 3 mostra-se uma ampliação da envolvente superior do primeiro troço sendo definidos graficamente os dois critérios de selecção de máximos que o operador pode ajustar (o tempo mínimo de ocorrência  $Dt$  e o limite mínimo de pressão sonora  $Linf$ ).

O tempo total de corrida da aplicação computacional de contagem de veículos, para um registo sonoro correspondente a meia hora de gravação, foi inferior a 15 segundos num computador portátil com um processador Intel Centrino a 1.6 MHz.

Foi desenvolvida uma outra aplicação computacional que, a partir do processamento de um sinal estereofónico registado a partir de dois microfones ligados a tubos flexíveis colocados transversalmente à estrada, permite, além da contagem dos veículos, a determinação da sua velocidade e do seu sentido de passagem. Na figura 4 apresenta-se a montagem experimental utilizada. Nas extremidade de dois tubos flexíveis de silicone com 10 mm de diâmetro foram colocados dois microfones do tipo habitualmente utilizado para ligação às placas de som de computadores. Estes microfones

foram alimentados individualmente com tensões de cerca de 3 volt, sendo os seus sinais de saída ligados à entrada de linha do gravador digital, através de uma ficha “jack” stereo.

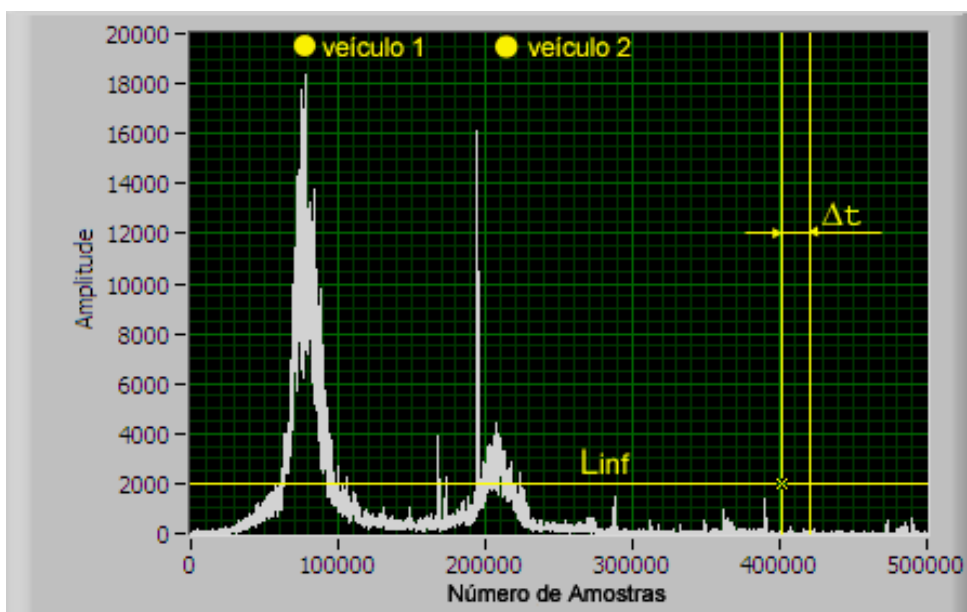


Figura 3 – Identificação da passagem de dois veículos em extracto de registo sonoro e definição de critérios de validação da passagem de um veículo (tempo mínimo de ocorrência  $\Delta t$  e limite mínimo de pressão sonora  $L_{inf}$ )

Na figura 5 apresentam-se os sinais recolhidos para a passagem de três veículos iguais a velocidades de cerca de 30 km/h, 40 Km/h e 55 Km/h, sucessivamente. Os dois tubos flexíveis montados transversalmente na estrada distavam, entre si, 4 metros. A passagem de cada um dos eixos do veículo sobre um dos tubos flexíveis provoca uma alteração da pressão no interior dos mesmo que é detectada pelos microfones ao qual ele está ligado. A parte superior da figura corresponde ao registo sonoro do microfone 2, enquanto a parte inferior diz respeito ao microfone 1. Para cada uma das passagens é possível identificar as passagens dos dois eixos do veículo. Pode-se determinar a velocidade do veículo, dividindo o espaçamento entre os tubos flexíveis pelo valor do atraso temporal do sinal de um microne relativamente ao do outro.

Na figura 5 são ainda apresentados os valores dos atrasos medidos para cada uma das passagens, bem como das velocidades determinadas. No caso apresentado, o sentido de passagem foi sempre da esquerda para a direita, o que se confirma pela análise dos registos, dado que o sinal do microfone 1, está em todos os casos, adiantado relativamente ao do microfone 2.

A estratégia de processamento dos ficheiros obtidos é semelhante à apresentada na figura 3, com a ressalva de o programa ter que permitir a leitura de sinais estereofónicos. É feita a identificação de picos e localização de picos para cada um dos microfones, tendo na contagem de veículos que se tem em conta o facto de picos demasiado próximos corresponderem à passagem sucessiva dos vários eixos do mesmo veículo. A velocidade média de passagem pode ser obtida por dois processos alternativos, ou a partir do cálculo da média aritmética das velocidades individuais de passagem dos veículos, ou a partir do tempo médio característico de atraso do sinal de um microfone relativamente ao do outro, o que pode ser determinado a partir da correlação cruzada dos dois sinais.

Esta segunda aplicação computacional ainda se encontra em desenvolvimento, prevendo-se que lhe sejam acrescentadas novas funcionalidades, nomeadamente um

processo de identificação automática do número de eixos dos veículo com totalizadores parciais para as várias categorias.

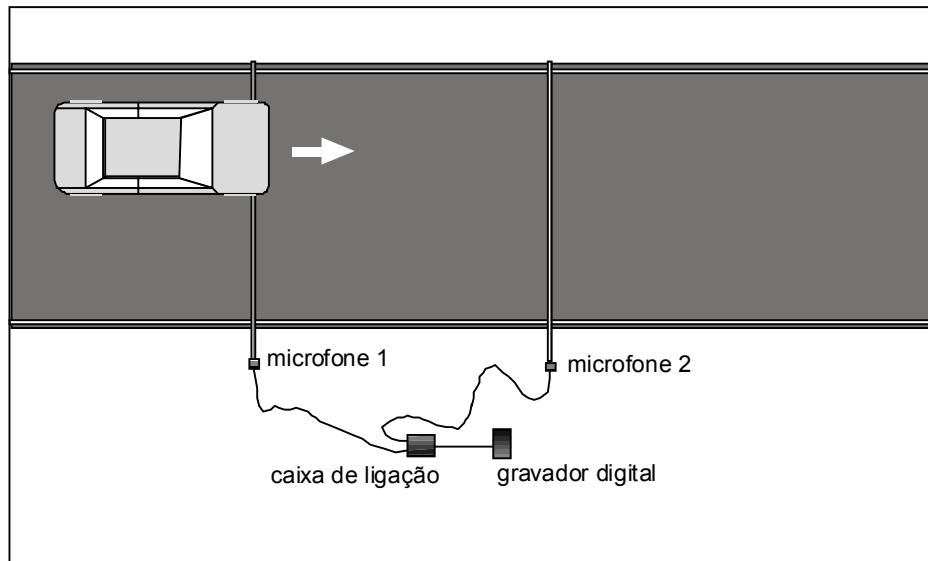


Figura 4 – Representação esquemática do sistema de recolha dos sinais de dois microfones ligados a tubos flexíveis colocadas na estrada.

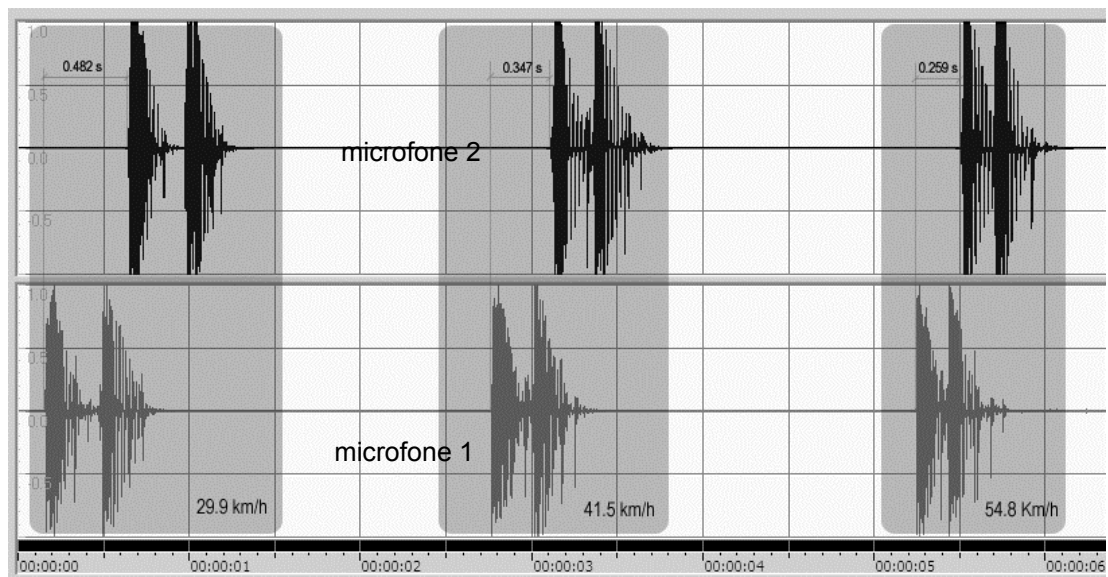


Figura 5 – Sinais de passagem de três veículos gravados em modo estereofónico no gravador digital a partir dos microfones ligados a dois tubos flexíveis.

## CONCLUSÃO

Foi desenvolvida uma metodologia de baixo custo para a obtenção dos dados de fluxo de veículos em vias rodoviárias. O processo baseia-se em equipamentos de electrónica de consumo, gravadores digitais de som com ligação, para transferência de dados, à porta USB de computadores pessoais. A automatização da contagem das ocorrências de passagem de veículos é garantida através de aplicações computacionais de tratamento de sinal desenvolvidas pelos autores na linguagem de programação Labview. Com a metodologia

apresentada, é possível obter informação detalhada sobre o fluxo rodoviário (trânsito médio diário, velocidade média de circulação, número de eixos dos veículo, etc.) com um baixo investimento em equipamento de medida. A metodologia apresentada pode, naturalmente ser adaptada para outro tipo de fontes sonoras, como, por exemplo, o tráfego ferroviário.