

Novo método expedito de previsão de ruído de tráfego rodoviário

VITOR ROSÃO¹

ANA AGUILERA¹

¹SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído | Portugal

Autor correspondente: vitor.schiu@gmail.com

Palavras-chave

Previsão, Expedita, Ruído, Tráfego, Rodoviário.

Resumo

Pelo menos desde 2006 (DL 146/2006) que é usual utilizar, em Portugal, o método Francês NMPB96 para a previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário. Tal método possui alguma complexidade e está, usualmente, integrado em *softwares* comerciais relativamente dispendiosos. Assim, assume especial interesse a possibilidade de efetivação de uma previsão expedita sem necessidade de recurso ao método/*software*, pesem embora algumas limitações que deverão ser devidamente tidas em conta. Nesta perspetiva, foi desenvolvido, em 2008, um método expedito de previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, baseado na NMPB-Routes-96. Em 2015 (Diretiva EU 2015/996) foram publicados, oficialmente, os métodos harmonizados europeus (para utilização em todos os estados membros) para previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e indústrias. Estes métodos harmonizados são também denominados por CNOSSOS-EU (*Common Noise Assessment Methods in Europe*). O presente artigo pretende assim apresentar um novo método expedito de previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, baseado no método expedito desenvolvido em 2008 e acrescentando resultados associados ao CNOSSOS-EU (Diretiva EU 2015/996).

1 | INTRODUÇÃO

O DL 292/2000 [1] foi relativamente inovador ao introduzir, no ano 2000 e em Portugal, o conceito de Mapa de Ruído e a obrigação das Câmaras Municipais realizarem Mapas de Ruído, sendo que a Diretiva 2002/49/CE [2], que introduziu os conceitos de Mapa Estratégico de Ruído a nível Europeu, só foi publicada em 2002 e só foi transposta para o direito interno Português em 2006 (DL 146/2006 [3]).

A Diretiva 2002/49/CE estabelecia como método de cálculo provisório a nível Europeu (até ao estabelecimento de métodos harmonizados), no seu Anexo II (métodos de avaliação dos indicadores de ruído), no seu n.º 3, para o tráfego rodoviário, o método Francês NMPB-Routes-96 [4].

Assim, em Portugal, pelo menos desde 2006 (DL 146/2006), é muito usual o recurso ao método NMPB-Routes-96 (aqui também designado apenas como NMPB96) para a previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário.

A referência [5] desenvolveu e apresentou, em 2008, no congresso Acústica 2008, em Coimbra, uma metodologia expedita para previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, baseada na NMPB96. Em 2010, essa metodologia expedita foi estendida ao tráfego ferroviário, tráfego aéreo e indústrias [6].

Em 2015 foi publicada a Diretiva 2015/996 [7], retificada em 2018 [8], que estabelece métodos comuns de previsão de ruído no espaço Europeu (aqui também denominada apenas como CNOSSOS15), substituindo, portanto, o método NMPB96, no caso do ruído de tráfego rodoviário. Os Estados Membros estavam obrigados a transpor a Diretiva 2015/996 para o direito interno até 31 de dezembro de 2018.

O presente artigo pretende desenvolver uma nova metodologia expedita de previsão dos níveis sonoros do ruído de tráfego rodoviário, tendo por base as referências [5,6] e os novos métodos Europeus harmonizados [7,8].

2 | NOVO MÉTODO

O novo método expedito vai utilizar, como em [5,6], uma via reta com 10 km de comprimento e efetuar as previsões a várias distâncias laterais, a meio dessa via, para as seguintes condições base (algumas diferentes do método anterior, como se explica em seguida), e utilizando um *software* disponível no mercado (Cadna A [9]): 1) Tráfego Médio Horário de Veículos Ligeiros: 1000 veículos; 2) Tráfego Médio Horário de Outros Veículos. 1000 veículos; 3) Velocidade de Circulação de referência dos veículos: 30 km/h; 4) Tipo de Pavimento: Pavimento de referência (Correção 0 dB).

Relativamente ao Tráfego Médio Horário de Outros Veículos: De notar que a NMPB96 apenas considerava veículos ligeiros e veículos pesados. O CNOSSOS15 considera as seguintes categorias de veículos, com diferentes espectros de emissão sonora. Assim, afigurou-se adequado calcular, para cada categoria, o valor de referência junto à via, e mais tarde a propagação com o aumentar da distância ao centro da via: 1) Categoria 1: Veículos a motor ligeiros: automóveis, furgonetas até 3.5 toneladas, veículos utilitários desportivos, veículos para fins múltiplos, incluindo reboques e caravanas; 2) Categoria 2: Veículos pesados médios: veículos pesados médios, furgonetas com mais de 3.5 toneladas, camionetas e autocarros, autocaravanas, etc., com dois eixos e pneus duplos no eixo da retaguarda; 3) Categoria 3: Veículos pesados: veículos pesados, autocarros de turismo, camionetas e autocarros com três ou mais eixos; 4) Categoria 4: Veículos a motor de duas rodas: 4a) Subcategoria 4a: Ciclomotores de duas, três e quatro rodas; 4b) Subcategoria 4b: Motociclos com ou sem carro lateral, triciclos e quadriciclos.

Relativamente à Velocidade de Circulação de referência dos veículos: Uma vez que a subcategoria 4b tem como limite de velocidade 45 km/h [10], afigurou-se adequado considerar como valor base, para todas as categorias, uma velocidade mais reduzida (30 km/h).

Relativamente ao Tipo de Pavimento: De acordo com a Diretiva 2015/996 o Pavimento de Referência (CNS01) é constituído por: “... *média de betão betuminoso denso 0/11 e de mistura betuminosa do tipo SMA (stone mastic asphalt) 0/11, com 2 a 7 anos, em condições de manutenção representativa*”.

O novo método vai efetuar, como em [5,6], previsões para 3 diferentes Probabilidades de Ocorrência (PO) de condições favoráveis de propagação sonora (PO 0%, PO 50% e PO 100%) e para as seguintes condições, que se assumem como constantes para o novo método expedito (algumas diferentes do método anterior, como se explica em seguida): 1) Altura acima do solo das previsões: 4 m; 2) Coefficiente de absorção sonora do solo: 0.5; 3) Inclinação

da via: via horizontal; 4) Tipo de fluxo: fluxo contínuo (sem acelerações/desacelerações); 5) Temperatura: 17°C; 6) Humidade relativa: 70%.

Relativamente ao Coefficiente de absorção sonora do solo: Dado o espectro de emissão sonora seguro da NMPB96 (com mais componentes graves do que a realidade), considerava-se mais adequado – para uma previsão não demasiado conservadora – a utilização de um coeficiente de absorção sonora do solo mais elevado (0.8). Uma vez que o CNOSSOS15 utiliza espectros de emissão sonora sem os fatores de segurança da NMPB96, afigura-se adequado utilizar agora um coeficiente de absorção sonora médio (0.5).

De notar que o espectro da NMPB96 é o mais seguro (mais componentes de baixa frequência, menores atenuações sonoras com ao aumento da distância à via). De notar também a seguinte tendência geral para os espectros do CNOSSOS15: 1) Menores velocidades e veículos mais pesados: mais componentes de baixa frequência; 2) Maiores velocidades e veículos mais leves: menos componentes de baixa frequência.

2.1. NÍVEIS SONOROS JUNTO À VIA (PASSO 1)

Para o novo método expedito, começa-se por determinar o Nível Sonoro de Referência, a 1 m de distância lateral à via, para as diferentes categorias de veículos e considerando os dados de base referidos, nomeadamente: 1) Tráfego: 1000 veículos por hora; 2) Velocidade de circulação: 30 km/h; 4) Pavimento: Pavimento rodoviário de referência CNS01; 5) Distância lateral ao centro da via: 1m.

Tabela 1. Níveis Sonoros de referência para as diferentes categorias e para o dados de base (NMPB96 e CNOSSOS15).

Categoria de veículo	Níveis Sonoros de Referência [dB(A)]
Cat.1 NMPB96 (Ligeiros)	71
Cat.2 NMPB96 (Pesados)	86
Cat.1 CNOSSOS15 (Ligeiros)	66
Cat.4b CNOSSOS15 (Motociclos)	68
Cat.4a CNOSSOS15 (Ciclomotores)	69
Cat.2 CNOSSOS15 (Pesados 2 eixos)	75
Cat.3 CNOSSOS15 (Pesados 3 ou mais eixos)	78

De notar que a diferença de emissão sonora entre os veículos ligeiros da NMPB96 e os veículos ligeiros do CNOSSOS15 é 5 dB. A diferença de emissão sonora entre os veículos pesados da NMPB96 e os veículos pesados do CNOSSOS15 é 8 a 11 dB.

A consideração dos valores de referência da NMPB96 ou do CNOSSOS15 dependerá da idade do parque automóvel em apreço. Para veículos mais antigos (mais ruidosos) deverá utilizar-se os valores da NMPB96, por segurança. Para veículos mais recentes (menos ruidosos) deverá utilizar-se os valores do CNOSSOS15. Para um parque intermédio poderá equacionar-se utilizar valores intermédios.

Em caso da existência, em simultâneo, de mais do que uma categoria as correções seguintes deverão ser feitas de forma independente a cada categoria, e efetuar a Soma Energética dos resultados individuais, conforme capítulo “2.6 Soma energética”.

2.2. CORREÇÃO DE TRÁFEGO (PASSO 2)

Para este método expedito interessa conhecer o Tráfego Médio Horário (TMH) de cada categoria. Caso o tráfego médio horário específico ($TMH_{\text{específico}}$) de cada categoria em análise seja diferente de 1000 veículos por hora deverá ser efetuada a seguinte Correção de Tráfego (CT) ao Nível Sonoro de referência (Tabela 1) dessa categoria:

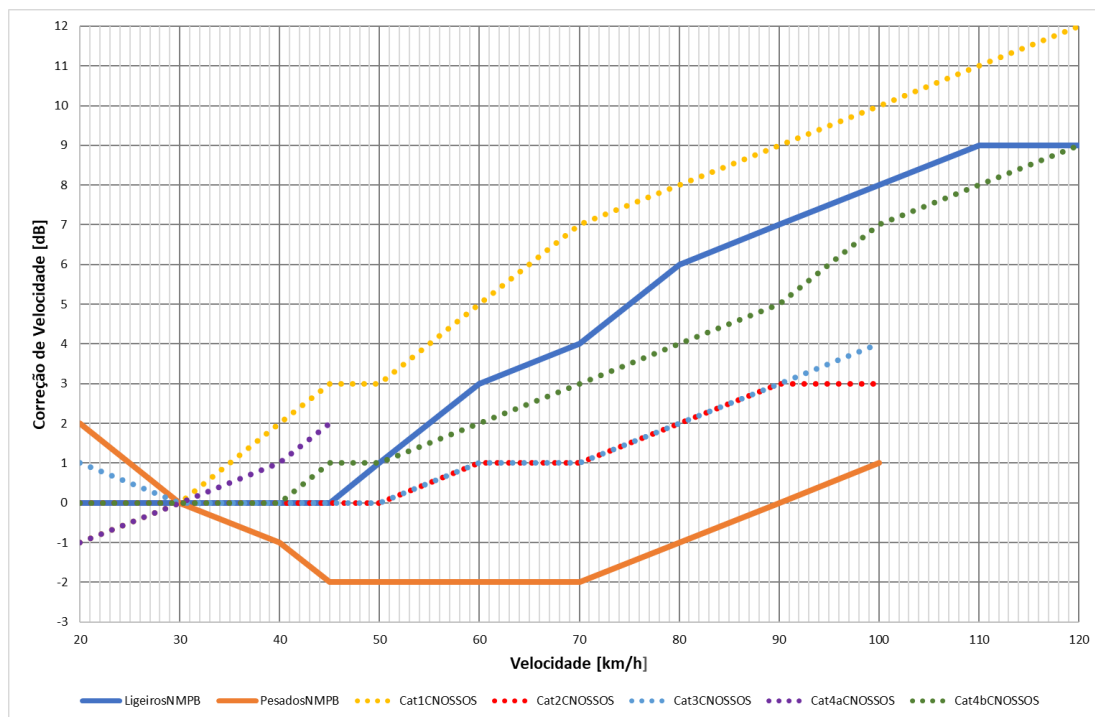
$$CT = 10 \log_{10}(TMH_{\text{específico}}/1000) \quad (1)$$

2.3. CORREÇÃO DE VELOCIDADE, JUNTO À VIA (PASSO 3)

Caso a velocidade de circulação efetiva seja diferente de 30 km/h, será necessário aplicar, para cada categoria em apreço, a Correção de Velocidade (CV) que se apresenta na Figura 1, com valores arredondados à unidade, dadas as incertezas em causa.

Como as diferentes velocidades implicam diferentes espectros de emissão sonora, estas correções apenas são válidas junto à via. Para maiores distâncias à via o efeito será abordado mais à frente.

Figura 1. Correção de Velocidade (NMPB96 e CNOSSOS15).



2.4. CORREÇÃO DE PAVIMENTO (PASSO 4)

Caso o pavimento rodoviário efetivo em causa seja diferente do Pavimento de Referência (CNS01), será necessário aplicar, para cada categoria em apreço e para cada tipo de Pavimento, as Correções de Pavimento (CP) que se apresentam na Tabela 2 (Categoria 1), Tabela 3 (Cat. 2) e Tabela 4 (Cat. 3).

Como os pavimentos alteram o espectro de emissão sonora, as Correções de Pavimento (CP) são diferentes em função da distância à via, o que é explicitado, de forma aproximada e minimizada (valores de atenuação seguros), também na Tabela 2 (Categoria 1), Tabela 3 (Cat. 2) e Tabela 4 (Cat. 3).

Como as diferentes velocidades de circulação significam também diferentes espectros de emissão sonora, as Correções de Pavimento (CP) são diferentes em função das velocidades de circulação, o que é também explicitado, de forma aproximada e simplificada (selecionaram-se apenas algumas velocidades típicas, face à gama de velocidades do pavimento e à gama de velocidades da categoria em causa) na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

As 3 velocidades típicas consideradas para as 5 categorias são: Cat. 1 e 4b: 30, 80 e 120 km/h; Cat. 2 e 3: 30, 70 e 100 km/h; Cat. 4a: 30 e 45 km/h. Essas velocidades típicas são ajustadas/complementadas, face às gamas de velocidade de cada tipo de pavimento (ver Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4).

Não se apresentam correções para as Categorias 4a e 4b, pois no CNOSSOS15 a eficácia dos pavimentos é nula para essas categorias.

As tabelas seguintes permitem verificar que existem pavimentos mais eficazes para veículos ligeiros do que para veículos pesados, pavimentos mais eficazes para baixa velocidade do que para alta velocidade, e vice versa, e pavimentos mais eficazes até maiores distâncias à via.

Os tipos de Pavimentos considerados no CNOSSOS15 (Diretiva 2015/996: Quadro F-4) são os seguintes, com as seguintes gamas de velocidades de aplicação não aplicação à seguinte Categoria de veículos: CNS01 (todas as velocidades; pavimento de referência): SMA (*stone mastic asphalt*) 0/11; CNS02 (50 a 130 km/h): ZOAB (betão Betuminoso muito aberto) monocamada; CNS03 (50 a 130 km/h): ZOAB (betão betuminoso muito aberto) bicamada; CNS04 (80 a 130 km/h): ZOAB (betão betuminoso muito aberto) bicamada (fino); CNS05 (40 a 80 km/h; não aplicável Cat. 2 e 3): SMA-NL5; CNS06 (40 a 80 km/h; não aplicável Cat. 2 e 3): SMA-NL8; CNS07 (70 a 120 km/h): Betão escovado; CNS08 (70 a 80 km/h): Betão escovado otimizado; CNS09 (70 a 120 km/h): Betão penteado fino; CNS10 (50 a 130 km/h): Superfície trabalhada; CNS11 (30 a 60 km/h): Elementos rígidos em espinha; CNS12 (30 a 60 km/h): Elementos rígidos não dispostos em espinha; CNS13 (30 a 60 km/h): Elementos rígidos silenciosos; CNS14 (40 a 130 km/h): Camada fina A; CNS15 (40 a 130 km/h): Camada fina B.

Tabela 2. Correção de Pavimento (Categoria 1 CNOSSOS15)

Tipo de Pavimento (gama de distâncias à via [m])	Correção Pavimento relativamente a CNS01 [dB]					
	Velocidade de Circulação [km/h]					
	30	40	50	60	80	120
CNS02 (1 a 30 m)	-	-	-1	-	-1	-3
CNS02 (31 a 100 m)	-	-	0	-	-1	-2
CNS02 (101 a 300 m)	-	-	1	-	0	-1
CNS02 (301 a 500 m)	-	-	1	-	1	0
CNS02 (501 a 10000m)	-	-	1	-	1	1
CNS03 (1 a 100m)	-	-	-4	-	-4	-5
CNS03 (101 a 200m)	-	-	-3	-	-3	-4
CNS03 (201 a 250m)	-	-	-2	-	-3	-4
CNS03 (251 a 350m)	-	-	-2	-	-2	-3
CNS03 (351 a 400m)	-	-	-1	-	-2	-3
CNS03 (401 a 500m)	-	-	-1	-	-1	-2
CNS03 (501 a 2000m)	-	-	0	-	0	0
CNS03 (2001 a 10000m)	-	-	0	-	0	1

Tipo de Pavimento (gama de distâncias à via [m])	Correção Pavimento relativamente a CNS01 [dB]					
	Velocidade de Circulação [km/h]					
	30	40	50	60	80	120
CNS04 (1 a 60m)	-	-	-	-	-7	-7
CNS04 (61 a 150m)	-	-	-	-	-6	-6
CNS04 (151 a 250m)	-	-	-	-	-5	-5
CNS04 (251 a 350m)	-	-	-	-	-4	-4
CNS04 (351 a 500m)	-	-	-	-	-3	-3
CNS04 (501 a 1000m)	-	-	-	-	-1	-1
CNS04 (1001 a 10000m)	-	-	-	-	0	0
CNS05 (1 a 35m)	-	-2	-	-	-2	-
CNS05 (36 a 200m)	-	-1	-	-	-1	-
CNS05 (201 a 10000m)	-	0	-	-	0	-
CNS06 (1 a 90m)	-	-1	-	-	-1	-
CNS06 (91 a 10000m)	-	0	-	-	0	-
CNS07 (1 a 4000m)	-	-	-	-	3	3
CNS07 (4001 a 10000m)	-	-	-	-	1	1
CNS08 (1 a 60m)	-	-	-	-	0	-
CNS08 (61 a 4000m)	-	-	-	-	1	-
CNS08 (4001 a 10000m)	-	-	-	-	0	-
CNS09 (1 a 500m)	-	-	-	-	2	4
CNS09 (501 a 1000m)	-	-	-	-	2	3
CNS09 (1001 a 2000m)	-	-	-	-	2	3
CNS09 (2001 a 4000m)	-	-	-	-	1	3
CNS09 (4001 a 8000m)	-	-	-	-	1	2
CNS09 (8001 a 10000m)	-	-	-	-	0	2
CNS10 (1 a 4000m)	-	-	3	-	3	2
CNS10 (4001 a 8000m)	-	-	1	-	1	2
CNS10 (8001 a 10000m)	-	-	1	-	1	1
CNS11 (1 a 100m)	1	-	-	2	-	-
CNS11 (101 a 4000m)	1	-	-	3	-	-
CNS11 (4001 a 10000m)	1	-	-	2	-	-
CNS12 (1 a 60m)	4	-	-	5	-	-
CNS12 (61 a 2000m)	4	-	-	6	-	-
CNS12 (2001 a 4000m)	3	-	-	5	-	-
CNS12 (4001 a 10000m)	1	-	-	4	-	-
CNS13 (1 a 35m)	-2	-	-	-2	-	-
CNS13 (36 a 100m)	-1	-	-	-1	-	-
CNS13 (101 a 300m)	0	-	-	0	-	-
CNS13 (301 a 10000m)	1	-	-	1	-	-
CNS14 (1 a 70m)	-	-3	-	-	-3	-3
CNS14 (71 a 150m)	-	-2	-	-	-3	-3
CNS14 (151 a 250m)	-	-2	-	-	-2	-2
CNS14 (251 a 450m)	-	-1	-	-	-2	-2
CNS14 (451 a 500m)	-	0	-	-	-1	-1
CNS14 (501 a 10000m)	-	0	-	-	0	0
CNS15 (1 a 30m)	-	-4	-	-	-5	-5
CNS15 (31 a 100m)	-	-4	-	-	-4	-5
CNS15 (101 a 150m)	-	-3	-	-	-3	-4
CNS15 (151 a 200m)	-	-2	-	-	-3	-4
CNS15 (201 a 250m)	-	-2	-	-	-2	-4
CNS15 (251 a 400m)	-	-2	-	-	-2	-3
CNS15 (401 a 450m)	-	-1	-	-	-2	-3
CNS15 (451 a 500m)	-	-1	-	-	-2	-2
CNS15 (501 a 1000m)	-	-1	-	-	-1	-2
CNS15 (1001 a 8000m)	-	-1	-	-	-1	-1

Tipo de Pavimento (gama de distâncias à via [m])	Correção Pavimento relativamente a CNS01 [dB]					
	Velocidade de Circulação [km/h]					
	30	40	50	60	80	120
CNS15 (8001 a 10000m)	-	0	-	-	0	-1

Tabela 3. Correção de Pavimento (Categoria 2 CNOSSOS15)

Tipo de Pavimento (gama de distâncias à via [m])	Correção Pavimento relativamente a CNS01 [dB]						
	Velocidade de Circulação [km/h]						
	30	40	50	60	70	80	100
CNS02 (1 a 100m)	-	-	-3	-	-3	-	-3
CNS02 (101 a 150m)	-	-	-2	-	-2	-	-2
CNS02 (151 a 350m)	-	-	-1	-	-1	-	-1
CNS02 (351 a 10000m)	-	-	0	-	0	-	0
CNS03 (1 a 25m)	-	-	-6	-	-6	-	-6
CNS03 (26 a 100m)	-	-	-5	-	-5	-	-5
CNS03 (101 a 200m)	-	-	-4	-	-4	-	-4
CNS03 (201 a 300m)	-	-	-3	-	-3	-	-3
CNS03 (301 a 500m)	-	-	-2	-	-2	-	-2
CNS03 (501 a 1000m)	-	-	-1	-	-1	-	-1
CNS03 (1001 a 10000m)	-	-	0	-	0	-	0
CNS04 (1 a 90m)	-	-	-	-	-	-6	-6
CNS04 (91 a 200m)	-	-	-	-	-	-5	-5
CNS04 (201 a 300m)	-	-	-	-	-	-4	-4
CNS04 (301 a 450m)	-	-	-	-	-	-3	-3
CNS04 (451 a 1000m)	-	-	-	-	-	-2	-2
CNS04 (1001 a 2000m)	-	-	-	-	-	-1	-1
CNS04 (2001 a 10000m)	-	-	-	-	-	0	0
CNS07 (1 a 10000m)	-	-	-	-	0	-	0
CNS08 (1 a 100m)	-	-	-	-	-2	-	-
CNS08 (101 a 2000m)	-	-	-	-	-1	-	-
CNS08 (2001 a 10000m)	-	-	-	-	0	-	-
CNS09 (1 a 10000m)	-	-	-	-	1	-	1
CNS10 (1 a 100m)	-	-	-1	-	-1	-	-1
CNS10 (101 a 10000m)	-	-	0	-	0	-	0
CNS11 (1 a 60m)	0	-	-	1	-	-	-
CNS11 (61 a 10000m)	1	-	-	1	-	-	-
CNS12 (1 a 90m)	1	-	-	3	-	-	-
CNS12 (91 a 2000m)	2	-	-	3	-	-	-
CNS12 (2001 a 4000m)	1	-	-	3	-	-	-
CNS12 (4001 a 8000m)	1	-	-	2	-	-	-
CNS12 (8001 a 10000m)	1	-	-	2	-	-	-
CNS13 (1 a 2000m)	0	-	-	1	-	-	-
CNS13 (2001 a 10000m)	0	-	-	0	-	-	-
CNS14 (1 a 250m)	-	-1	-	-	-1	-	-1
CNS14 (251 a 10000m)	-	0	-	-	0	-	0
CNS15 (1 a 250m)	-	-1	-	-	-1	-	-1
CNS15 (251 a 10000m)	-	0	-	-	0	-	0

Tabela 4. Correção de Pavimento (Categoria 3 CNOSSOS15)

Tipo de Pavimento (gama de distâncias à via [m])	Correção Pavimento relativamente a CNS01 [dB]						
	Velocidade de Circulação [km/h]						
	30	40	50	60	70	80	100
CNS02 (1 a 60m)	-	-	-3	-	-3	-	-3
CNS02 (61 a 150m)	-	-	-2	-	-2	-	-2
CNS02 (151 a 300m)	-	-	-1	-	-1	-	-1

Tipo de Pavimento (gama de distâncias à via [m])	Correção Pavimento relativamente a CNS01 [dB]						
	Velocidade de Circulação [km/h]						
	30	40	50	60	70	80	100
CNS02 (301 a 10000m)	-	-	0	-	0	-	0
CNS03 (1 a 100m)	-	-	-5	-	-5	-	-5
CNS03 (101 a 150m)	-	-	-4	-	-5	-	-5
CNS03 (151 a 200m)	-	-	-4	-	-4	-	-4
CNS03 (201 a 250m)	-	-	-3	-	-3	-	-3
CNS03 (251 a 300m)	-	-	-3	-	-3	-	-3
CNS03 (301 a 500m)	-	-	-2	-	-2	-	-2
CNS03 (501 a 1000m)	-	-	-1	-	-1	-	-1
CNS03 (1001 a 10000m)	-	-	0	-	0	-	0
CNS04 (1 a 90m)	-	-	-	-	-	-6	-6
CNS04 (91 a 200m)	-	-	-	-	-	-5	-5
CNS04 (201 a 300m)	-	-	-	-	-	-4	-4
CNS04 (301 a 500m)	-	-	-	-	-	-3	-3
CNS04 (501 a 1000m)	-	-	-	-	-	-2	-2
CNS04 (1001 a 2000m)	-	-	-	-	-	-1	-1
CNS04 (2001 a 10000m)	-	-	-	-	-	0	0
CNS07 (1 a 10000m)	-	-	-	-	0	-	0
CNS08 (1 a 100m)	-	-	-	-	-2	-	-
CNS08 (101 a 2000m)	-	-	-	-	-1	-	-
CNS08 (2001 a 10000m)	-	-	-	-	0	-	-
CNS09 (1 a 4000m)	-	-	-	-	1	-	2
CNS09 (4001 a 10000m)	-	-	-	-	1	-	1
CNS10 (1 a 60m)	-	-	-1	-	-1	-	0
CNS10 (61 a 350m)	-	-	0	-	0	-	0
CNS10 (351 a 10000m)	-	-	0	-	0	-	1
CNS11 (1 a 40m)	0	-	-	2	-	-	-
CNS11 (41 a 4000m)	1	-	-	2	-	-	-
CNS11 (4001 a 10000m)	0	-	-	2	-	-	-
CNS12 (1 a 4000m)	1	-	-	4	-	-	-
CNS12 (4001 a 10000m)	1	-	-	3	-	-	-
CNS13 (1 a 1000m)	0	-	-	1	-	-	-
CNS13 (1001 a 10000m)	0	-	-	0	-	-	-
CNS14 (1 a 200m)	-	-	-	-	-1	-	-1
CNS14 (201 a 10000m)	-	0	-	-	0	-	0
CNS15 (1 a 200m)	-	-1	-	-	-1	-	-1
CNS15 (201 a 10000m)	-	0	-	-	0	-	0

2.5. CORREÇÃO DE DISTÂNCIA À VIA (PASSO 5)

Como o CNOSSOS15 possui diferentes espectros de emissão sonora para diferentes veículos e diferentes velocidades, as atenuações sonoras com a distância à via dependem assim de muitos mais parâmetros do que apenas a Probabilidade de Ocorrência (PO) de condições favoráveis à propagação sonora, como se considerou no método expedito anterior. Foram assim efetuados os cálculos das atenuações sonoras com a distância à via para todas as condições indicadas na Tabela 5, sendo selecionadas 5 Curvas de Atenuação (CA) e sendo indicado qual a CA mais próxima (majorante) para cada caso.

Conforme referido atrás, as 2|3 velocidades típicas consideradas para as 5 categorias (4 categorias, e 2 subcategorias para a Categoria 4) são: Cat. 1 e 4b: 30, 80 e 120 km/h; Cat. 2 e 3: 30, 70 e 100 km/h; Cat. 4a: 30 e 45 km/h.

Tabela 5. Condições consideradas e Curva de Atenuação (CA) a considerar para cada caso

Categoria Veículo	Probabilidade de Ocorrência (PO)	Curva de Atenuação (CA) com a distância à via a considerar (Tipo de Pavimento: CNS01; para outros pavimentos ver tabelas anteriores)					
		Velocidade [km/h]					
		30	45	70	80	100	120
NMPB96							
Ligeiros (30,80,120) Pesados (30,70,100)	PO 0%	CA3	CA3	CA3	CA3	CA3	CA3
Ligeiros (30,80,120) Pesados (30,70,100)	PO 50%	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1
Ligeiros (30,80,120) Pesados (30,70,100)	PO 100%	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1	CA1
CNOSSOS15							
Categoria1	PO 0%	CA3	-	-	CA5	-	CA5
Categoria1	PO 50%	CA3	-	-	CA2	-	CA2
Categoria1	PO 100%	CA1	-	-	CA2	-	CA2
Categoria2	PO 0%	CA3	-	CA4	-	CA4	-
Categoria2	PO 50%	CA1	-	CA2	-	CA2	-
Categoria2	PO 100%	CA1	-	CA1	-	CA1	-
Categoria3	PO 0%	CA3	-	CA4	-	CA5	-
Categoria3	PO 50%	CA1	-	CA2	-	CA2	-
Categoria3	PO 100%	CA1	-	CA1	-	CA1	-
Categoria4a	PO 0%	CA5	CA2	-	-	-	-
Categoria4a	PO 50%	CA2	CA2	-	-	-	-
Categoria4a	PO 100%	CA2	CA2	-	-	-	-
Categoria4b	PO 0%	CA3	-	-	CA4	-	CA4
Categoria4b	PO 50%	CA1	-	-	CA3	-	CA2
Categoria4b	PO 100%	CA1	-	-	CA1	-	CA1

Figura 2. Gráfico das Curvas de Atenuação selecionadas (CA1, CA2, CA3, CA4 e CA5) (1 a 100m).

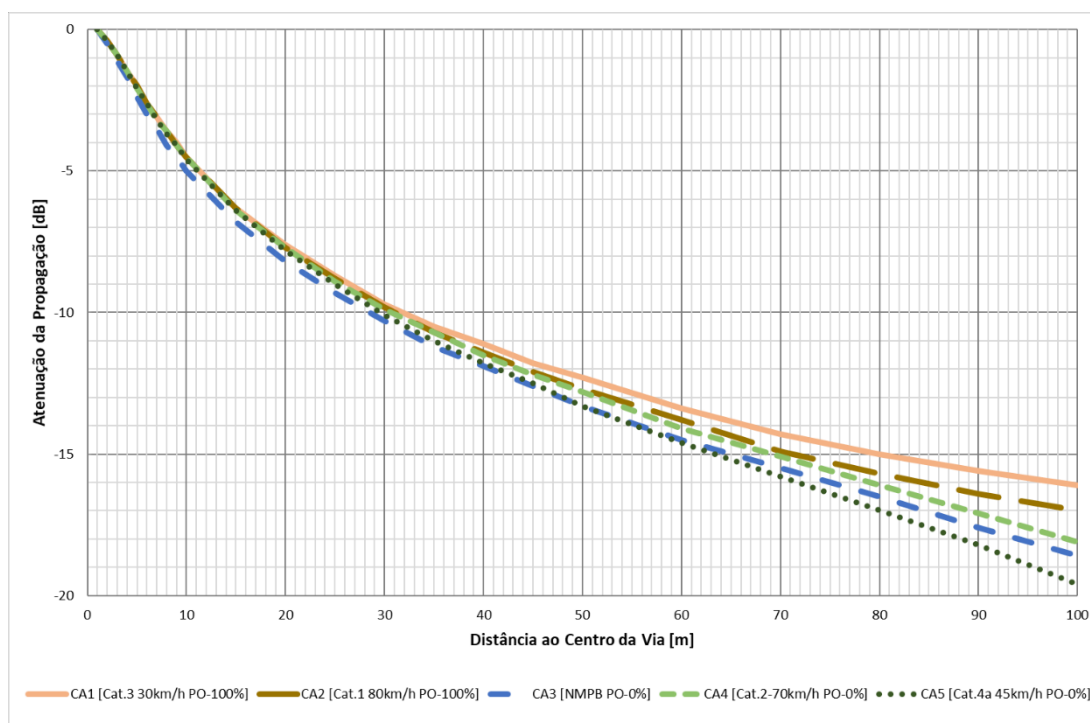


Figura 3. Gráfico das Curvas de Atenuação selecionadas (CA1, CA2, CA3, CA4 e CA5) (100 a 1000m).

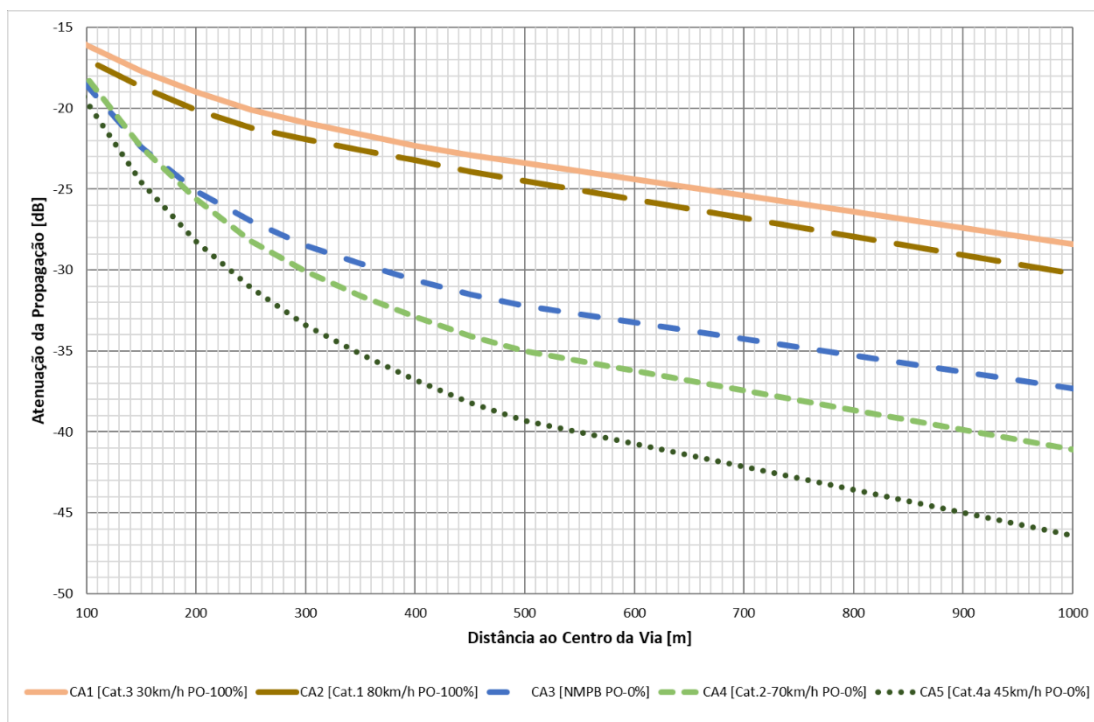
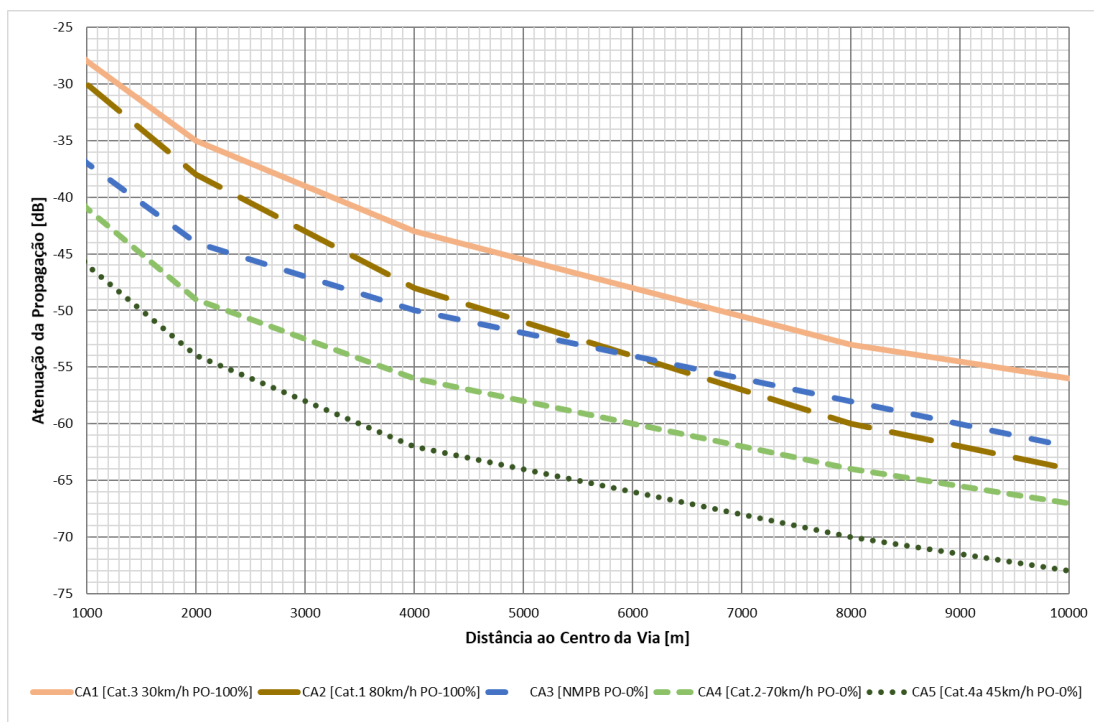


Figura 4. Gráfico das Curvas de Atenuação selecionadas (CA1, CA2, CA3, CA4 e CA5) (1000 a 10000m).



2.6. SOMA ENERGÉTICA (PASSO 6)

Os níveis sonoros corrigidos, obtidos individualmente para cada categoria em apreço (L_{Cn}) deverão ser somados energeticamente para obtenção do Nível Sonoro Global corrigido (L_G):

$$L_G = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{L_{C1}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Cn}}{10}} \right) \quad (2)$$

3| EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Considere-se a necessidade de determinar qual a influência acústica de um novo loteamento, para uma única habitação unifamiliar, em termos de tráfego rodoviário gerado e influência na imediata proximidade da via e a 10 m e a 200 m de distância. Admitindo a existência de 2 veículos com 4 movimentos cada (saída manhã depois das 7h, regresso almoço, saída almoço, regresso antes das 20h), no período diurno (7h-20h), temos o seguinte Tráfego Médio Horário de Veículos Ligeiros no período diurno: $2 \times 4 / 13 \approx 0.6$. Admitindo a distribuição de tráfego segura patente na referência [11]: Dia (7h-20h): 75% das 24h; Entardecer (20h-23h): 15% das 24h; Noite (23h-7h): 10% das 24h, resultam os seguintes dados de Tráfego Médio Horário (TMH) gerados pelo loteamento: TMHdia ≈ 0.6 ; TMHentardecer $\approx (0.6 \times 13 / 0.75) \times 0.15 / 3 \approx 0.5$; TMHnoite $\approx (0.6 \times 13 / 0.75) \times 0.1 / 8 \approx 0.1$.

Seguindo os passos do método expedito tem-se:

- Passo 1 (Valores base; Tabela 1): Para veículos ligeiros antigos (mais seguro): 71 dB(A); Para veículos ligeiros recentes: 66 dB(A).
- Passo 2 [Correção de Tráfego; Equação (1)]: $CT_{dia} = 10 \log(0.6/1000) \approx -32$ dB; $CT_{entardecer} = 10 \log(0.5/1000) \approx -33$ dB; $CT_{noite} = 10 \log(0.1/1000) \approx -40$ dB. Assim resulta: NMPB: Dia: $71 - 32 = 39$ dB(A); Entardecer: $71 - 33 = 38$ dB(A); Noite: $71 - 40 = 31$ dB(A); CNOSSOS: Dia: $66 - 32 = 34$ dB(A); Entardecer: $66 - 33 = 33$ dB(A); Noite: $66 - 40 = 26$ dB(A).
- Passo 3 (Correção de Velocidade; Figura 1): Admitindo uma velocidade de circulação de 50 km/h tem-se: LigeirosNMPB: +1 dB; LigeirosCNOSSOS: +3 dB, logo: NMPB: Dia: $39 + 1 = 40$ dB(A); Entardecer: $38 + 1 = 39$ dB(A); Noite: $31 + 1 = 32$ dB(A); CNOSSOS: Dia: $34 + 3 = 37$ dB(A); Entardecer: $33 + 3 = 36$ dB(A); Noite: $26 + 3 = 29$ dB(A).
- Passo 4 (Correção de Pavimento, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4): admite-se a utilização de pavimento de referência: correção 0 dB.
- Passo 5 (Correção com a Distância, Curva de Atenuação; Tabela 5, Figura 2, Figura 3 e Figura 4): Para a imediata proximidade da via (1m) matem-se os valores anteriores. Para 10 m de distância à via tem-se -4 dB [NMPB: Dia: $40 - 4 = 36$ dB(A); Entardecer: $39 - 4 = 35$ dB(A); Noite: $32 - 4 = 28$ dB(A); CNOSSOS: Dia: $37 - 4 = 33$ dB(A); Entardecer: $36 - 4 = 32$ dB(A); Noite: $29 - 4 = 25$ dB(A)]. Para 200 m de distância à via tem-se: NMPB-PO0%: -25 dB; NMPB-PO50%100%: -19 dB; CNOSSOSCat.1 "30km/h" PO0%50%: -25 dB; CNOSSOSCat.1 "30km/h" PO100%: -19 dB (NMPB: Dia(PO50%): $40 - 19 = 21$ dB(A); Entardecer(PO100%): $39 - 19 = 20$ dB(A); Noite(PO100%): $32 - 19 = 13$ dB(A); CNOSSOS: Dia (PO50%): $37 - 25 = 12$ dB(A); Entardecer(PO100%): $36 - 19 = 17$ dB(A); Noite (PO100%): $29 - 19 = 10$ dB(A)). Selecionou-se a curva de 30km/h por maior segurança e proximidade a 50 km/h.

4 | CONCLUSÕES

Face ao explicitado e ao exemplo de aplicação apresentado julga-se que o método expedito desenvolvido pode ser muito útil em diferentes situações de necessidade de previsão simplificada dos níveis sonoros devido ao ruído de tráfego rodoviário. Não deverá, contudo, perder-se de vista que se trata de um método expedito em que as previsões são limitadas e aproximadas, pelo que para previsões mais rigorosas e mais abrangentes deverá sempre recorrer-se a *softwares* mais avançados que integrem a NMPB96 e/ou o CNOSSOS15.

Referências

- [1] Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei 292/2000.
<https://dre.pt/application/conteudo/615046>
- [2] Jornal Oficial da União Europeia, Diretiva 2002/49/CE.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=en>
- [3] Diário da República Portuguesa, Decreto-Lei 146/2006.
<https://dre.pt/application/conteudo/539393>
- [4] Association Française de Normalisation (AFNOR) – *XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de l’attenuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques*. 2001.
- [5] Rosão, Vitor; et. al. – *Determinação Expedita da Área de Influência Acústica de Infra-Estruturas de Transporte Rodoviário*. Coimbra. Atas do Acústica 2008, 20 a 22 de outubro, Coimbra, Portugal.
<https://www.schiu.com/sectores/artigos/Art-688-DetermExpeditaAIA.pdf>
- [6] Rosão, Vitor; et. al. – *Fast Determination of the Acoustic Area of Influence of Roads, Railways, Airports and Industries*. Proceedings of Inter-Noise 2010, 13 a 16 de junho, Lisboa, Portugal.
<https://www.schiu.com/sectores/artigos/2010-Art007-FastPrevision.pdf>
- [7] Jornal Oficial da União Europeia, Diretiva 2015/996.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996&from=FR>
- [8] Jornal Oficial da União Europeia, Retificação da Diretiva 2015/996.
[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996R\(01\)&qid=1549432493869&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L0996R(01)&qid=1549432493869&from=EN)
- [9] <https://www.datakustik.com/products/cadnaa/cadnaa/>.
- [10] Diário da República Portuguesa, Lei 72/2013.
<https://dre.pt/application/conteudo/499526>
- [11] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) – *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (Version 2)*. 2007.
https://www.lfu.bayern.de/laerm/eg_umgebungslaermrichtlinie/doc/good_practice_guide_2007.pdf