

Limitações e Opções Alternativas da Modelação na Componente Ruído

Vitor Rosão¹ e Sónia Antunes²

¹ SCHIU, Engenharia de Vibração e Ruído, Unip., Lda. | Rua de Faro, Bloco B, 2.º Frente, Estói | 8005-463 Faro | Tel./fax: 289998009; email: vitorrosao@schiu.com | ² LNEC, Núcleo de Acústica e Iluminação | Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa | Tel. 218443834; email: santunes@lneec.pt

Resumo: Apresentam-se algumas limitações dos modelos actualmente disponíveis e amplamente utilizados na previsão e controle dos níveis sonoros no exterior. Foca-se principalmente o ruído de tráfego rodoviário, nomeadamente: i) o facto de se considerar um único tipo de emissão sonora, independentemente do parque automóvel, da velocidade média de circulação e da quantidade de veículos pesados; ii) ser considerada uma única altura acima da via para a fonte sonora em linha que simula o ruído dos veículos e iii) considerar-se a atenuação dos pavimentos menos ruidosos independente da distância à via. Comentam-se as consequências dessas limitações e indicam-se opções alternativas para as contornar, as quais são suportadas por exemplos práticos.

1. Introdução

As crescentes capacidades dos modelos analíticos de previsão dos níveis sonoros no exterior, associadas às crescentes melhorias dos sistemas informáticos, fazem com que sejam também crescentes as exigências dos utilizadores desses modelos – e das entidades que os apreciam – na medida em que se pretende prever, com maior exactidão, quais os níveis sonoros associados a determinado projecto, e decidir de forma sustentada sobre a sua viabilidade em termos de perturbação acústica, à luz dum regime legal objectivo, como também viabilizar o apoio a planos de redução de ruído mais correlacionados com a realidade.

São diversos os modelos analíticos disponíveis, o que faz com que tenha existido, até à publicação da Directiva 2002/49/CE (transposta para o direito interno português pelo Decreto-Lei n.º 146/2006, de 31 de Julho), algum desregramento, relativamente aos métodos e descritores acústicos utilizados, razão pela qual a referida Directiva estabelece que todos os Estados Membros terão de passar a utilizar como descritores do ruído ambiente exterior os parâmetros *Nível Dia-Entardecer-Noite (Lden)* – calculado com base na ponderação dos valores de 3 períodos de referência: período diurno (*Ld*), período de entardecer (*Le*) e período nocturno (*Ln*) – e *Nível Noite (Ln)* por si só, devendo ser utilizados os seguintes 4 métodos interinos para a sua obtenção:

Ruído Industrial: ISO 9613-2, de 1996 (NP 4361-2, de 2001).

Ruído de Tráfego Rodoviário: NMPB-Route-96 e XP S31-133, 2001.

Ruído de Tráfego Ferroviário: SRM II, 1996.

Ruído de Tráfego Aéreo: Doc. 29 da CEAC, de 1997.

Estes métodos deverão adaptar-se aos requisitos específicos da Directiva 2002/49/CE (DL 146/2006) e à Recomendação da Comissão 2003/613/CE, e ser utilizados para o cálculo dos primeiros Mapas Estratégicos de Ruído, a apresentar ao Instituto do Ambiente até 31 de Março de 2007.

Para a 2ª fase de Mapas Estratégicos de Ruído, a apresentar ao Instituto do Ambiente até 31 de Março de 2012, deverão ser utilizados os métodos harmonizados para a modelação do ruído ambiente, actualmente em desenvolvimento/consolidação no Projecto Europeu IMAGINE (<http://www.imagine-project.org/>), em sequência do Projecto Europeu HARMONOISE terminado em 2005.

As razões que levaram à necessidade do desenvolvimento de novos métodos prendem-se, por um lado, com a necessidade de harmonização e, por outro lado, com a necessidade de melhoramento dos métodos disponíveis, pois para a maioria dos mesmos é desconhecida a sua exactidão (IMAGINE, 2004).

Pretende-se, assim, com base nas características específicas dos métodos interinos referidos, explicitar algumas limitações julgadas importantes e demonstrar da pertinência da utilização de métodos alternativos complementares, pelo menos durante este período de transição que colmará na definitiva utilização dos métodos europeus harmonizados.

A utilização adequada dos métodos alternativos aqui exposto, como complemento dos métodos interinos referidos, deverá permitir a obtenção de resultados mais exactos e poderá antecipar algumas especificidades que deverão ser necessárias contabilizar nos novos métodos harmonizados.

2. Métodos interinos

Apresentam-se nas tabelas seguintes, de forma resumida, as principais características dos métodos interinos definidos no D.L. n.º 146/2006, no que concerne à emissão e propagação sonora.

Tabela 1: Base de dados de emissão sonora

ISO 9613-2	XP S32-133	SRM-II	CEAC
<p>Não possui base de dados específica.</p> <p>Deve obter-se informação específica através de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricantes (maioria das vezes apenas valores de banda larga) • Bases de dados disponíveis, e.g.: http://www.dgmr.nl/software/downloadsdb.htm • Legislação [valores limite (D.L. n.º 76/2002, de 26 de Março)] • WG-AEN 2006 (na ausência de valores específicos): <ul style="list-style-type: none"> ○ Indústria pesada e Portos: 65 dB(A)/m² ○ Indústria ligeira: 60 dB(A)/m² ○ Usos comerciais: 60 dB(A)/m², para o período diurno e de entardecer, e 45 dB(A)/m², para o período nocturno. • Medições <i>in situ</i>: <ul style="list-style-type: none"> ○ http://www.imagine-project.org/bestanden/IMA07TR-050418-MBBM03%20measurement%20method.pdf 	<p>Reporta-se ao documento Guide du Bruit, 1980.</p> <p>Medições <i>in situ</i>: EN ISO 11819-1, de 2001 (infelizmente alguns <i>softwares</i> não possibilitam a modificação dos dados de emissão sonora).</p>	<p>Base de dados própria.</p> <p>Medições <i>in situ</i>: EN ISO 3095, de 2005.</p>	<p>Não possui base de dados própria.</p> <p>Recomendação da Comissão 2003/613/CE indica duas bases de dados, uma Alemã e outra Austríaca.</p> <p>Nova versão do Doc. 29 já possui base de dados: http://www.aircraftnoise.model.org/</p> <p>Medições <i>in situ</i>: ISO/DIS 20906, de 2006.</p>

Tabela 2: Decomposição das fontes sonoras

ISO 9613-2	XP S32-133	SRM-II	CEAC
Só fontes pontuais (outros tipos de fonte decompostos em diferentes fontes pontuais)	Cada via de trânsito é decomposta num conjunto de secções com determinado comprimento, sendo cada secção modelada por uma fonte pontual a 0.5 metros acima da via.	Cada via de trânsito é decomposta num conjunto de secções com determinado comprimento, sendo cada secção modelada por 5 fontes pontuais, a diferentes alturas acima do carril: <ul style="list-style-type: none"> • 0 metros. • 0.5 metros. • 2 metros. • 4 metros. • 5 metros. 	As trajectórias de descolagem e aterragem são decompostas em secções com comprimento mínimo de 3 metros, sendo cada secção modelada por uma fonte pontual.

Tabela 3: Variáveis com influência na emissão sonora

ISO 9613-2	XP S32-133	SRM-II	CEAC
-	<p><u>Tipo de veículos</u> [ligeiros (<3.5 tn) e pesados (≥3.5 tn)]</p> <p><u>Velocidade contínua equivalente de circulação de cada tipo de veículo</u> (20 km/h a 100 km/h, para pesados, 20 km/h a 130 km/h para ligeiros)</p> <p><u>Inclinação longitudinal da secção da via de tráfego a que diz respeito determinada fonte pontual</u> [horizontal, subida (>2%) e descida (<-2%)]</p> <p><u>Tipo de fluxo</u> (fluido contínuo, pulsado contínuo, pulsado acelerado, pulsado desacelerado)</p> <p><u>Tipo de pavimento</u> (asfalto mole, superfície porosa, cimento/asfalto rugoso, calçada fina ou calçada grosseira)</p>	<p><u>Tipo de comboio, sobretudo em termos de propulsão e sistema de travagem</u> [comboios eléctricos de passageiros com travões de bloco (C1), comboios eléctricos de passageiros com travões de disco e travões de bloco (C2), comboios eléctricos de passageiros com travões de disco (C3), comboios de mercadorias com travões de bloco (C4), comboios diesel de passageiros com travões de bloco (C5), comboios diesel de passageiros com travões de disco (C6), Metropolitano (C7), Inter-cidades (C8) ou comboios de alta velocidade com travões de bloco e travões de disco (C9)]</p> <p><u>Tipo de linha</u> (travessas monobloco ou bi-bloco de betão sobre balastro, travessas de madeira ou de betão em zigzag sobre balastro, zonas de junções ou “switches” ou zonas de fixação de carril ajustável)</p> <p><u>Velocidade contínua equivalente de circulação de cada tipo de comboio</u></p>	<p><u>Tipo de avião e peso máximo de descolagem</u> (planador, avião a hélice, avião a jacto).</p> <p><u>Velocidades e alturas na trajectória de descolagem.</u></p> <p><u>Velocidades e alturas na trajectória de aterragem.</u></p>

Tabela 4: Características espectrais da emissão sonora

ISO 9613-2	XP S32-133	SRM-II	CEAC
Depende da informação obtida e/ou das medições efectuadas. Método de cálculo por bandas de oitava.	Valores de Banda Larga. Conversão para bandas de oitava através do espectro normalizado constante na EN 1793-3, de 1997.	Cara tipo de comboio tem um espectro próprio para cada fonte pontual em altura.	Método de cálculo por bandas de oitava

Tabela 5: Características de directividade da emissão sonora

ISO 9613-2	XP S32-133	SRM-II	CEAC
Depende da informação obtida e/ou das medições efectuadas.	Fontes omnidireccionais	Fontes omnidireccionais	Fontes omnidireccionais

Tabela 6: Atenuações consideradas na propagação sonora

ISO 9613-2	XP S32-133	SRM-II	CEAC
Divergência geométrica Absorção atmosférica Efeito do solo Difracção em objectos densos Reflexão em objectos densos	Divergência geométrica Absorção atmosférica Efeito do solo Difracção em objectos densos Reflexão em objectos densos	Distância Propagação (atenuação atmosférica, atenuação do solo, correcção meteorológica) Difracção em objectos densos Reflexão em objectos densos	Apenas factor de distância

3. Limitações

Apresentam-se nos capítulos seguintes algumas limitações dos modelos interinos referidos, referenciadas de forma a facilitar a posterior apresentação das respectivas opções alternativas propostas.

Irá focar-se especialmente a modelação do ruído de tráfego rodoviário, razão pela qual as limitações associadas aos restantes modelos são referidas como gerais.

Para além das limitações inerentes ao modelo de emissão e propagação sonora, não se deve deixar de salientar a importância da qualidade dos dados que apoiam os SIG, dada a sua influência no comportamento global do modelo implementado.

3.1 Gerais

Ger.Lim01:

Em todos os métodos interinos expostos, a emissão e a propagação sonora são decompostas apenas em bandas de oitava, o que não possibilita a determinação de características tonais nos receptores, as quais, de acordo com o preconizado no Anexo I do Decreto-Lei n.º 292/2000, deverão ser determinadas com base no espectro de 1/3 de oitava.

Ger.Lim02:

A obtenção de níveis sonoros de longa duração com base na norma ISO 9613-2 é efectuada mediante a consideração de um termo de correcção denominado C_{met} , para o qual não existe

uma relação simples com diferentes probabilidades de ocorrência de condições favoráveis e desfavoráveis de emissão sonora, pelo que não é possível considerar directamente a recomendação do artigo (WG-AEN, 2006), de, na ausência de informação específica, considerar-se para o período diurno (7h-19h) 50% de probabilidade de ocorrência de condições favoráveis, para o período de entardecer (19h-23h) 75% de probabilidade de ocorrência e para o período nocturno (23h-7h) 100% de probabilidade de ocorrência. De referir a este respeito que os Estados Membros que definirem períodos de referência diferentes dos períodos de base da Directiva 2002/49/CE – como é o caso de Portugal – as probabilidades referidas deverão ser corrigidas em conformidade.

Ger.Lim03:

As especificidades dos comboios Holandeses fazem com não seja fácil a correspondência das suas emissões sonoras com os comboios específicos dos outros estados membros, nomeadamente Portugal.

Ger.Lim04:

Os dados de emissão sonora do método SRM-II são dependentes da existência de travões de bloco ou de travões de disco nos comboios, devido ao facto da existência de travões de bloco implicar uma maior probabilidade de criação de rugosidades no rodado o que se traduzirá, ao longo do tempo e em condições normais, em valores mais elevados de emissão sonora. Assim, a emissão sonora efectiva de uma determinada linha férrea existente não depende directamente da presença de travões de bloco ou de travões de disco mas sim da efectiva rugosidade do rodado.

Ger.Lim05:

A não ponderação no modelo SRM-II, de alguns fenómenos particulares com emissão sonora não negligenciável, como é o caso do chiar que ocorre em alguns troços e nas zonas de travagem, faz com que os níveis sonoros efectivamente apercebidos nesses locais possam ser significativamente diferentes do modelado.

Ger.Lim06:

A impossibilidade de ponderação específica da atenuação por difracção no modelo CEAC, faz com que não seja possível determinar com rigor os níveis sonoros associados aos pontos mais baixos da trajectória (junto aos aeroportos) nem determinar a eficácia da implementação de uma barreira acústica para redução do ruído devido aos movimentos no solo.

3.2 Tráfego Rodoviário (XP S32-133)

Rod.Lim01:

A base de dados utilizada por defeito é dos anos 70/80, o que faz com que na generalidade dos casos práticos actuais a emissão sonora real seja significativamente inferior à modelada. Muitas vezes este facto não é apercebido porque a velocidade considerada na modelação é inferior à praticada, o que contrabalança o facto referido.

Rod.Lim02:

A decomposição de cada secção de via de trânsito numa única fonte em altura, faz com que não seja adequadamente contemplado o facto de para baixas velocidades prevalecer o ruído do motor, e para maiores velocidades o ruído das interacções pneu/pavimento e veículo/ar (ruído aerodinâmico), cujos centros acústicos se encontram a diferentes alturas acima da via.

Rod.Lim03:

Apenas é considerada a emissão sonora média de dois tipos de veículos (ligeiros e pesados), o que em algumas circunstâncias é demasiado limitativo, não só porque pode ser relevante a consideração de outros tipos de veículos, como sejam veículos motorizados de 2 rodas, mas

também porque a variação da emissão sonora de veículos do mesmo tipo, como por exemplo os veículos ligeiros a gasolina e os veículos ligeiros a gasóleo, e veículos pesados de 2 eixos e veículos pesados com mais de 2 eixos, pode traduzir-se numa significativa diferenciação da emissão sonora contínua equivalente real da emissão sonora contínua equivalente modelada.

Rod.Lim04:

A não existência de uma relação normalizada entre a velocidade contínua equivalente praticada nos percursos horizontais e nos percursos em subida/descida, assim como entre os percursos com fluxo de tráfego fluido e os percursos com tráfego pulsado, faz com que algumas vezes se despreze esse facto e se considere na modelação a mesma velocidade contínua equivalente para todos os percursos de uma dada via, independentemente do perfil longitudinal e do fluxo de tráfego. De referir ainda a este respeito que não é simples a determinação da velocidade contínua equivalente de determinada via, razão pela qual se utilizam normalmente os limites legais de velocidade na modelação, o que pode conduzir a níveis sonoros modelados significativamente diferentes dos reais.

Rod.Lim05:

Apenas são consideradas diferentes emissões sonoras para 3 tipos de inclinações [horizontal, descida (>2%) e subida (>2%)], o que em algumas circunstâncias pode representar uma significativa diferenciação entre a emissão sonora contínua equivalente real e a emissão sonora contínua equivalente modelada, nomeadamente para inclinações significativamente superiores a 2%. De referir a este respeito que alguns *softwares* consideram a inclinação da via independente do sentido do trânsito o que agrava esta limitação.

Rod.Lim06:

No modelo a atenuação sonora produzida pelos pavimentos menos ruidosos é independente da frequência, contudo, na realidade, a atenuação desses pavimentos é usualmente superior para as altas-frequências e negligenciável para as baixas-frequências, o que faz com que a maiores distâncias das vias de tráfego e na presença de obstáculos a eficácia dos pavimentos menos ruidosos seja usualmente sobrevalorizada.

Rod.Lim07:

O espectro de emissão sonora do modelo é independente da percentagem de pesados, da velocidade de circulação e do tipo de pavimento, o que faz com que nos casos onde o espectro de emissão sonora real possui mais componentes graves do que o espectro modelado, a atenuação devida à absorção atmosférica e devida à difracção esteja sobrevalorizada.

4. Opções Alternativas e Exemplos

Apresentam-se em seguida algumas opções alternativas complementares para contornar as limitações referidas.

4.1 Geral

Ger.Alt01:

Recomenda-se a obtenção de dados com espectro de 1/3 de oitava e/ou a medição *in situ* por bandas de 1/3 de oitava.

Transformam-se esses valores em valores de banda de oitava e introduzem-se no modelo.

Verifica-se quais os valores por bandas de oitava obtidos num determinado receptor para uma determinada fonte.

Calculam-se as atenuações por bandas de oitava para esse receptor para essa fonte e extrapolam-se as atenuações por bandas de 1/3 de oitava, obtendo-se assim o resultado expectável em

bandas de 1/3 de oitava [de referir que este tipo de extrapolação é também recomendado, por razões diferentes, num projecto de investigação europeu (SILVIA, 2006)].

Exemplo.Ger.Alt01:

Considere-se o exemplo teórico de uma Fonte Sonora ideal que possui características tonais nas Bandas de Frequência Central de 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3150 e 6300 Hz, conforme se explicita nas tabelas seguintes (para uma fonte real que se pretenda modelar dever-se-ão efectuar medições *in situ*), respectivamente por bandas de 1/3 e de 1/1 de oitava.

Tabela 7: Espectro de emissão sonora por 1/3 de oitava

Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
dB (A)	80	80	80	88	80	80	88	80	80	88
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
dB (A)	80	80	88	80	80	88	80	80	88	80
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
dB (A)	80	88	80	80	88	80	80	98		

Tabela 8: Espectro de emissão sonora por oitava

Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Global
dB (A)	85	89	89	89	89	89	89	89	89	98

Substituindo estes valores no modelo e calculando os níveis sonoros para uma distância de 25, 100 e 1000 metros, obtêm-se os seguintes resultados.

Tabela 9: Níveis sonoros por oitava

Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Global
25 m	49	53	49	49	51	50	50	50	48	60
100 m	37	41	34	34	38	37	37	35	27	47
1000 m	19	23	10	13	17	14	9	-15	-98	28

Estes resultados correspondem às seguintes atenuações por bandas de oitava.

Tabela 10: Atenuações por oitava

Hz	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Global
25	35	36	41	41	39	39	39	39	41	38
100 m	48	48	55	55	51	52	52	54	63	51
1000 m	65	66	79	76	73	75	81	104	188	70

Extrapolando essas atenuações para bandas de 1/3 de oitava obtêm-se:

Tabela 11: Atenuações por 1/3 de oitava

Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
25m	35	35	35	36	36	37	39	41	41	41
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
25 m	41	40	39	39	39	39	39	39	39	39
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
25 m	39	39	39	40	40	41	44	38		
Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
100 m	48	48	48	48	48	50	52	55	55	55
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
100 m	55	54	52	51	51	51	52	52	52	52
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		

100 m	53	53	54	56	59	63	75	51		
Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
1000 m	65	65	65	66	66	69	74	79	78	77
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
1000 m	76	75	74	73	73	74	75	76	78	81
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
1000 m	86	94	104	125	152	188	313	70		

Resultam assim os níveis sonoros por bandas de 1/3 de oitava que se apresentam na tabela seguinte, onde é patente que, para as condições modeladas, a uma distância de 100 metros da fonte desvanece a característica tonal na Banda de Frequência de 6300 Hz e a 1000 metros de distância desvanece a característica tonal nas Bandas de Frequência de 100 Hz e 3150 Hz.

Tabela 12: Níveis sonoros por 1/3 de oitava

Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
25m	45	45	45	52	44	43	49	39	39	47
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
25 m	39	40	49	41	41	49	41	41	49	41
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
25 m	41	49	41	40	48	39	36	60		
Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
100 m	32	32	32	40	32	30	36	25	25	33
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
100 m	25	26	36	29	29	37	28	28	36	28
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
100 m	27	35	26	24	29	17	5	47		
Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
1000 m	15	15	15	22	14	11	14	1	2	11
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
1000 m	4	5	14	7	7	14	5	4	10	-1
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
1000 m	-6	-6	-24	-45	-64	-108	-233	28		

Ger.Alt02:

De acordo com a referência (DG Enironment, 2003) deverá calcular-se C_0 com base na seguinte fórmula:

$$C_0 = -10 \log(p_f \cdot 10^{\frac{C_{of}}{10}} + p_{hc} \cdot 10^{\frac{C_{ohc}}{10}} + p_{hu} \cdot 10^{\frac{C_{ohu}}{10}})$$

onde p_f corresponde à probabilidade de ocorrência de condições favoráveis e $p_h = p_{hc} + p_{hu}$ à probabilidade de ocorrência de condições desfavoráveis/homogéneas [*crosswind* (p_{hc}) e *upwind* (p_{hu})], e C_{of} , C_{ohc} , C_{ohu} ao valor de C_0 para as respectivas condições.

A referência (DG Enironment, 2003) estabelece os seguintes valores: $C_{of} = 0$ dB, $C_{ohc} = 1.5$ dB e $C_{ohu} = 10$ dB.

Exemplo.Ger.Alt02:

Assumindo os valores definidos por defeito na referência (WG-AEN, 2006), ou seja, $p_f = 1 - p_h = 0.5$ para o período diurno (7h-19h), $p_f = 0.75$ para o período de entardecer (19h-23h) e $p_f = 1$ para o período nocturno (23h-7h), e admitindo igual probabilidade para p_{hc} e para p_{hu} , resultam os seguintes valores: $C_0 = 1.54$ dB para o período diurno, $C_0 = 0.7$ dB para o período de entardecer e $C_0 = 0$ dB para o período nocturno. No caso específico de Portugal, com

períodos de referência diferentes dos períodos base, resultam as seguintes probabilidades por defeito: $p_f = 0.52$ para o período diurno (7h-20h), $p_f = 0.75$ para o período de entardecer (20h-23h) e $p_f = 1$ para o período nocturno (23h-7h), e os seguintes valores de C_0 : $C_0 = 1.46$ dB para o período diurno, $C_0 = 0.7$ dB para o período de entardecer e $C_0 = 0$ dB para o período nocturno.

Ger.Alt03:

Será importante que as entidades Portugueses estabeleçam, mediante medições, uma equivalência entre os Comboios Holandeses e os Comboios Portugueses, sobretudo quando se tratam de modelações para o futuro, e/ou que se realizem medições *in situ* da emissão sonora dos Comboios de determinada linha quando se tratam de modelações de situações existentes. Assume especial relevância o facto do modelo SRM-II não incluir a variação da emissão sonora com o comprimento do comboio. Admitindo que o dobro do comprimento seja equivalente à passagem de dois comboios, obtém-se a relação $10\log(lr/lm)$, onde lm corresponde ao comprimento do comboio considerado no modelo e lr ao comprimento do comboio real que se pretende modelar.

Exemplo.Ger.Alt03:

Admitindo que um determinado comboio português com 200 m de comprimento é equivalente, em termos de nível máximo à passagem (medições *in situ* com base na ISO 3095, de 2005), a um comboio da base de dados do modelo SRM-II que possui 250 m, tem-se que os níveis sonoros deverão vir corrigidos em $10\log(200/250) \approx -1$ dB.

Ger.Alt04.Alt05:

Deverão efectuar-se, sempre que possível, medições *in situ* para determinação da efectiva emissão sonora dos comboios em diferentes secções da linha-férrea, com especial atenção a zonas com apetência para ocorrência de fenómenos de emissão sonora particulares, como é o caso das curvas apertadas, pontes, túneis, passagens de nível e estações. Idealmente os resultados que forem sendo obtidos deveriam ser compilados para consubstanciar uma base de dados nacional de emissões sonoras.

Ger.Alt06:

As trajectórias deverão ser substituídas por fontes em linha com emissão sonora equivalente à atribuída pelo modelo CEAC, já sendo possível, assim, determinar a eficácia de eventuais barreiras acústica. Em situações existentes, deverão ser efectuadas medições *in situ* com base na ISO/DIS 20906, de 2006.

4.2 Tráfego Rodoviário (XP S32-133)

Rod.Alt01:

Sempre que possível deverão ser efectuadas medições *in situ* para caracterização da efectiva emissão sonora dos veículos de determinada via.

Exemplo.Rod.Alt01:

Foram efectuadas várias medições junto a determinada Auto-Estrada Portuguesa, seguindo as recomendações da ISO 11819-1, tendo-se obtido as seguintes médias energéticas: $L_{Max} = 81$ dB(A) (veículos ligeiros), $L_{Max} = 88$ dB(A) (veículos pesados). Utilizando a fórmula $L_W = L_{Max} + 25.5$ (válida para campo livre sobre um plano reflector) obtém-se: $L_W = 106$ dB(A) (veículos ligeiros), $L_W = 113$ dB(A) (veículos pesados). Se utilizássemos a base de dados do modelo, considerando uma velocidade de 120 km/h para os veículos ligeiros e de 100 km/h para os veículos pesados, temos (vd. Guide du Bruit) $E = 39$ dB(A) (veículos ligeiros) e $E = 46$ dB(A) (veículos pesados). Comparando os valores da base de dados com os valores caracterizados *in situ* através da expressão: $L_W = E + 10 \log(V) + 50$, obtém-se, para a base de

dados: $L_W = 110$ dB(A) (veículos ligeiros), $L_W = 117$ dB(A) (veículos pesados), ou seja valores 4 dB acima dos caracterizados *in situ*.

Rod.Alt02:

Sempre que possível deverão ser efectuadas medições *in situ* e encontradas as contribuições das subfontes mais significativas. De acordo com a referência (HARMONOISE, 2004), existem duas subfontes mais importantes: ruído de rolamento e ruído de propulsão. Assumindo então que o L_{Max} medido de acordo com a ISO 11819-1 é dado por:

$$L_{Max} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{MaxR}}{10}} + 10^{\frac{L_{MaxP}}{10}} \right)$$

onde L_{MaxR} corresponde ao nível máximo devido ao ruído de rolamento e L_{MaxP} ao nível máximo devido ao ruído de propulsão. Assumindo ainda que os valores normalizados constantes na referência (HARMONOISE, 2004) são “universais” no caso do ruído de propulsão e dependentes das características específicas da via relativamente ao ruído de rolamento, pode obter-se o L_{MaxR} específico com base na seguinte expressão:

$$L_{MaxR} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{Max}}{10}} - 10^{\frac{L_{MaxP}}{10}} \right)$$

De acordo com (HARMONOISE, 2004) a modelação deverá ser efectuada considerando 2 fontes, uma a 0.01 m de altura, tanto para veículos ligeiros como para veículos pesados, e outra a 0.3 m de altura, para veículos ligeiros, e a 0.7 m de altura, para veículos pesados, cabendo à fonte mais baixa 80 % da potência sonora associada ao ruído de rolamento e 20 % da potência sonora associada ao ruído de propulsão. À fonte mais alta cabe 80% da potência sonora do ruído de propulsão e 20 % da potência sonora do ruído de rolamento.

Exemplo.Rod.Alt02:

Considerando a média energética $L_{Max} = 81$ dB(A) [$L_W = 106$ dB(A)], obtida *in situ* para veículos ligeiros, e considerando uma velocidade de circulação de 120 km/h, tem-se $L_{WP} = 104$ dB(A) (HARMONOISE, 2004), logo:

$$L_{WR} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{Max}}{10}} - 10^{\frac{L_{WP}}{10}} \right) = 10 \log \left(10^{\frac{106}{10}} - 10^{\frac{104}{10}} \right) = 102 \text{ dB(A)}$$

Assim, na via em análise, cada veículo ligeiro deverá ser modelado por uma fonte linear a 0.01 m acima da plataforma com $10 \log \left(0.8 \cdot 10^{\frac{102}{10}} + 0.2 \cdot 10^{\frac{104}{10}} \right) = 102$ dB(A) de nível de potência sonora e uma fonte linear a 0.3 m de altura com $10 \log \left(0.8 \cdot 10^{\frac{104}{10}} + 0.2 \cdot 10^{\frac{102}{10}} \right) = 104$ dB(A).

Rod.Alt03.Alt04.Alt05:

Deverá ser caracterizada *in situ* a emissão sonora dos diferentes tipos de veículos, nas diferentes secções da via com relevância, e calculada a média energética para utilização no modelo.

Exemplo.Rod.Alt03.Alt04.Alt05:

Foi caracterizada *in situ*, em determinada secção, a média energética do nível sonoro máximo de veículos ligeiros, pesados e motorizados de 2 rodas, tendo-se obtido os seguintes valores: $L_W =$

100.5 dB(A) (veículos ligeiros), $L_W = 105.5$ dB(A) (veículos pesados) e $L_W = 116.5$ dB(A) (motas). Sabendo que passam em média por hora 200 veículos ligeiros, 10 pesados e 12 motas, obtém-se, $L_{WTotal} = 129$ dB(A) utilizando a expressão:

$$L_{WTotal} = 10 \log(n_1 10^{\frac{L_{W1}}{10}} + n_2 10^{\frac{L_{W2}}{10}} + \dots)$$

Rod.Alt06.Alt07:

Deverá ser caracterizado *in situ* o espectro de 1/3 de oitava de cada tipo de veículo para cada tipo de secção de via, e ser obtido o Nível de Potência Sonora para cada uma das subfontes com importância.

Exemplo.Rod.Alt06.Alt07:

O $L_{Max} = 88$ dB(A) obtido *in situ* para veículos pesados de mais de 2 eixos [$L_W = 113.5$ dB(A)], possui o seguinte espectro:

Tabela 13: Nível Máximo por 1/3 de oitava

Hz	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
dB (A)	41	44	45	46,2	54	57,3	55,4	58,1	60,1	62,4
Hz	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k
dB(A)	65	69,1	72	74,2	79,6	81,1	81	79,7	77	75,1
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
dB(A)	73,8	71,5	68	66,2	63,3	59,6	55,8	88		

Considerando uma velocidade de circulação de 100 km/h, tem-se (HARMONOISE, 2004):

Tabela 13: Potência sonora normalizada por 1/3 de oitava para o ruído de propulsão

Hz	25,0	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	125,0	160,0	200,0
dB (A)	97,7	97,3	98,2	103,3	109,5	105,3	100,8	101,2	99,9	102,3
Hz	250,0	315,0	400,0	500,0	630,0	800,0	1k	1.25k	1.6k	2k
dB(A)	107,1	107,6	105,2	102,8	103,0	98,7	99,4	98,9	97,4	97,5
Hz	2.5k	3.15k	4k	5k	6.3k	8k	10k	Global		
dB(A)	96,3	95,2	94,5	91,5	91,5	85,4	83,8	116,5		

Temos então que o ruído de propulsão normalizado é superior ao $L_W = 113$ dB(A) caracterizado *in situ*, o que obriga à utilização de um método, por banda de frequência, diferente do descrito no Exemplo.Rod.Alt02. Se efectuarmos simultaneamente medições de $L_{Max} = a$ 1.2 metros de altura e a 4 metros de altura, podemos escrever:

$$\begin{cases} l_{Max1} = k_1 \cdot l_{W1} + k_2 \cdot l_{W2} \\ l_{Max2} = k_3 \cdot l_{W1} + k_4 \cdot l_{W2} \end{cases}$$

com $l_{Max} = 10L_{Max}/10$, $l_W = 10L_W/10$, $k_1 = 0.16 \cdot [7.52 + (1.2 - 0,01) 2] - 1$, $k_2 = 0.16 \cdot [7.52 + (1.2 - 0,7) 2] - 1$, $k_3 = 0.16 \cdot [7.52 + (4 - 0,01) 2] - 1$, $k_4 = 0.16 \cdot [7.52 + (4 - 0,7) 2] - 1$. Resulta assim:

$$\begin{cases} L_{W1} = 10 \log \left(k_4 10^{\frac{L_{Max1}}{10}} - k_2 10^{\frac{L_{Max2}}{10}} \right) - 10 \log(k_1 k_4 - k_2 k_3) \\ L_{W2} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{Max2}}{10}} - k_3 10^{\frac{L_{W1}}{10}} \right) - 10 \log(k_4) \end{cases}$$

ou seja, para cada banda de frequência:

$$\begin{cases} L_{W1} = 10 \log \left(0.0024 \cdot 10^{\frac{L_{Max1}}{10}} - 0.0028 \cdot 10^{\frac{L_{Max2}}{10}} \right) + 65.5 \\ L_{W2} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{Max2}}{10}} - 0.0022 \cdot 10^{\frac{L_{W1}}{10}} \right) + 26.3 \end{cases}$$

No caso da Banda de frequência de 1000 Hz, em que se mediu $L_{Max} = 81$ dB(A), a 1.2 m de altura e $L_{Max} = 80,2$ dB(A) a 4 metros de altura. Temos então $L_{W1} = 105$ dB(A) e $L_{W2} = 101.7$ dB(A). A maior diferença entre a modelação original e a opção alternativa aqui exposta corresponde ao dimensionamento das Barreiras Acústicas, as quais podem ter diferenças de cerca de 500 metros na sua extensão para proporcionarem a mesma atenuação (Neto, 2005).

5 Conclusões

Julga-se terem sido expostas algumas limitações importantes dos modelos interinos referenciados no D.L. n.º 146/2006, as quais podem conduzir a resultados significativamente diferentes da realidade, razão pela qual se afigura ser manifestamente relevante a sua consciencialização e o conhecimento das opções alternativas complementares de melhoramento, as quais, se adequadamente utilizadas, poderão contribuir definitivamente para uma melhor e mais eficaz avaliação e gestão do ruído ambiente.

Referências

[Association Française de Normalisation](#) – *XP S31-133: Acoustic: Road and railway traffic noise: Calculation of sound attenuation during outdoor propagation, including meteorological effects*. 2001.

CETUR – *Guide du bruit des transports terrestres: prévision des niveaux sonores*. 1980.

DG Environment – *Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping*. Final Report, Part A. 2003.

Diário da República Portuguesa, 1ª série, n.º 146, D.L. n.º 146/2006, de 31 de Julho.

Diário da República Portuguesa, 1ª série, n.º 72, D.L. n.º 76/2002, de 26 de Março.

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*. 2006

[European Committee for Standardization](#) – *EN ISO 11819-1: Acoustics: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise: Part 1: Statistical Pass-By method*. 2001.

[European Committee for Standardization](#) – *EN ISO 3095: Railway applications: Acoustics: Measurement of noise emitted by railbound vehicles*. 2005

HARMONOISE – *Source modelling of road vehicles*. 2004.

Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment (IMAGINE) – *State of the art*. 2004.

Instituto Português de Qualidade – NP 4361-2: Acústica: Atenuação do som na sua propagação ao ar livre: Parte 2: Método geral de cálculo. 2001.

International Organization for Standardization – *ISO 9613-2: Acoustic: Attenuation of sound during propagation outdoors: Part 2: General method of calculation*. 1996.

Jornal Oficial da União Europeia, L212, 22 de Agosto de 2003: Recomendação da Comissão 2003/613/CE, de 6 de Agosto, relativa às orientações sobre os métodos de cálculo provisórios

revistos para o ruído industrial, o ruído das aeronaves e o ruído do tráfego rodoviário e ferroviário, bem como dados de emissões relacionados.

Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L189, 18 de Julho de 2002: Directiva 2002/49/CE, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

Neto, M. F. Neto; Rosão, Vitor - *Influence of Spectral Emission on the Dimension of Acoustical Barriers*. InterNoise 2005.

Sustainable road surfaces for traffic noise control (SILVIA) – *Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces*. 2006.