

Guia prático para medições de ruído ambiente

- no contexto do Regulamento Geral do Ruído
tendo em conta a NP ISO 1996



AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE

Ministério da Agricultura, do Mar,
do Ambiente e do Ordenamento do Território

Guia prático para medições de ruído ambiente
- no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em
conta a NP ISO 1996

Outubro 2011

Ficha Técnica

Título

Guia prático para medições de ruído ambiente
- no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996

Autoria

O presente guia foi elaborado pela equipa:
João Matos
Jorge Fradique
Luís Tavares
Margarida Guedes
Maria João Leite

Edição

Agência Portuguesa do Ambiente

Data de edição

Outubro 2011

Local de edição

Amadora

Edição Electrónica em PDF

Agradece-se à SC3 da Comissão Técnica de Normalização em Acústica pelos contributos prestados.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ASPETOS DETERMINANTES DO RGR NA APLICAÇÃO DA NP ISO 1996-1	2
2.1 Termos e definições (item 3 da NP ISO 1996-1)	2
2.1.1 Intervalo de tempo de referência (períodos de referência).....	2
2.1.2 Intervalo de tempo de longa duração	2
2.1.3 Nível de avaliação (ver 2.2.1 do presente Guia)	2
2.1.4 Designações de som	3
2.2 Requisitos dos limites de ruído (item 7 da NP ISO 1996-1)	3
2.2.1 Indicadores de ruído	3
2.2.2 Intervalos de tempo relevantes.....	4
2.2.3 Locais (de medição)	4
2.3.4 Incertezas.....	4
3. ASPETOS COMPLEMENTARES PARA APLICAÇÃO DA NP ISO 1996-2.....	5
3.1 Equipamento	5
3.2 Procedimento de medição.....	5
3.2.1 Funcionamento da fonte (item 6 da NP ISO 1996-2)	5
3.2.2 Condições meteorológicas (item 7 da NP ISO 1996-2).....	7
3.2.3 Localização do microfone (item 8.3 da NP ISO 1996-2)	9
3.3 Ensaio acústico associados ao critério de incomodidade.....	9
3.4 Ensaio acústico associados ao valor limite de exposição	12
3.5 Tratamento de resultados	13
4. CONTEÚDO MÍNIMO DO RELATÓRIO DO ENSAIO ACÚSTICO	15
5. DOCUMENTOS TÉCNICOS A CONSULTAR	16
ANEXO A - EXEMPLOS PRÁTICOS DE APLICAÇÃO DA NP ISO 1996.....	17
A.1 Medições no interior	18
A.2 Medições no exterior	25
A.2.1 Atividade ruidosa permanente.....	25
A.2.2 Infraestruturas de transporte.....	37

A.2.3 Atividade ruidosa temporária (obra).....	44
ANEXO B – Determinação do raio de curvatura R pela norma NP ISO 1996 e pelo documento <i>IMAGINE</i>	46

1. INTRODUÇÃO

A atual legislação de ruído ambiente que enquadra a adoção da norma NP ISO 1996 é o Regulamento Geral do Ruído (RGR) aprovado pelo Decreto-lei nº 9/2007, de 17 de janeiro, retificado pela Declaração de Retificação nº 18/2007, de 16 de março, e alterado pelo Decreto-lei nº 278/2007, de 1 de agosto.

O RGR, para além de estabelecer os indicadores de avaliação de ruído ambiente e valores limite associados, contém algumas disposições particulares relativas ao procedimento de medição as quais prevalecem sobre as respetivas disposições da NP ISO 1996. É este o caso, designadamente, do Anexo I do RGR, cuja essência é normativa.

A NP ISO 1996, por seu lado, não estabelece requisitos mínimos de amostragem que garantam a representatividade das amostras para determinação de valores de indicadores de longa duração.

O objetivo principal do presente guia é contribuir para harmonizar os procedimentos de medição e de tratamento de resultados tendo em vista a boa aplicação da NP ISO 1996 na verificação do cumprimento dos requisitos acústicos estabelecidos no RGR.

Os vários estudos que tenham por base ensaios acústicos de ruído ambiente (sejam eles relatórios de ensaios acústicos realizados no âmbito de uma fiscalização, de avaliação de impacte ambiental, ou de avaliações acústicas para efeitos de licenciamento, entre outros) devem seguir as orientações do presente guia.

O presente guia estrutura-se, então, da seguinte forma:

- realça os aspetos determinantes do RGR sobre a NP ISO 1996 (item 2 do guia);
- estabelece requisitos mínimos quando se recorre à técnica de amostragem nos diversos ensaios acústicos e clarifica a aplicação dos critérios regulamentares (item 3 do guia);
- e exemplifica a aplicação da NP ISO 1996, quer em termos de procedimentos de medição quer em termos de tratamento e análise de resultados, à luz do RGR e das orientações contidas no presente guia, sem pretender que os exemplos sejam modelos únicos de abordagem para a realização do ensaio em causa (Anexo A do guia).

2. ASPETOS DETERMINANTES DO RGR NA APLICAÇÃO DA NP ISO 1996-1

O RGR determina os seguintes aspectos na aplicação da parte 1 da NP ISO 1996.

2.1 Termos e definições (item 3 da NP ISO 1996-1)

2.1.1 Intervalo de tempo de referência (períodos de referência)

Diurno	07h00-20h00
Entardecer	20h00-23h00
Noturno	23h00-07h00

2.1.2 Intervalo de tempo de longa duração

Os intervalos de tempo de longa duração são de:

- um ano para os indicadores L_{den} e L_n ,
- e um mês para o indicador $L_{Aeq,T}$, por período de referência, na avaliação do ruído ambiente e do ruído residual.

2.1.3 Nível de avaliação (ver 2.2.1 do presente Guia)

De acordo com a NP ISO 1996, um nível de avaliação é qualquer nível sonoro ao qual tenha sido adicionado uma correção em função do tipo de fonte, das características tonais e/ou impulsivas da fonte e do período de tempo. Contudo, nos termos do RGR, são apenas de considerar os seguintes níveis:

L_{Ar} ou $L_{Req,T}$ – nível de avaliação ou nível sonoro contínuo equivalente corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular, dado pela expressão:

$$L_{Ar} = L_{Aeq,T} + K_1 + K_2 \quad \text{equação 1}$$

onde,

$K_1 = 3\text{dB}$, se o ruído for tonal; o ruído é considerado tonal caso se verifique, no espectro de um terço de oitava¹ e medindo com ponderação de malha A, que o nível sonoro de uma banda excede o das adjacentes em 5dB(A) ou mais;

¹ De acordo com o item 8.4.11 da NP ISO 1996-2, os filtros de um terço de oitava abrangem as bandas de frequências centrais entre 50Hz a 10000Hz (ver item 3.3 deste guia).

$K_2 = 3\text{dB}$, se o ruído for impulsivo; o ruído é considerado impulsivo caso se verifique uma diferença, entre o nível sonoro contínuo equivalente medido no intervalo de tempo t , $L_{Aeq,t}$, em simultâneo com característica impulsiva e *fast*, superior a 6dB(A) .

Não se aplicam, portanto, os Anexos A, B e C da parte 1 nem os Anexos C e D da parte 2 da NP ISO 1996.

L_{den} , indicador de ruído diurno-entardecer-noturno – indicador de ruído, expresso em dB(A) , determinado durante uma série de períodos diurnos, do entardecer e noturnos, representativos de um ano, associado ao incómodo global, dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \quad \text{equação 2}$$

onde,

L_d , L_e e L_n representam o nível sonoro contínuo equivalente, em dB(A) , determinado, respetivamente, durante uma série de períodos diurnos, do entardecer e noturnos representativos de um ano.

2.1.4 Designações de som

Som total – corresponde ao ruído ambiente do RGR

Som específico – corresponde ao ruído particular do RGR

Som residual – corresponde ao ruído residual do RGR

2.2 Requisitos dos limites de ruído (item 7 da NP ISO 1996-1)

2.2.1 Indicadores de ruído

L_{den} , indicador de ruído diurno-entardecer-noturno – indicador de ruído, expresso em dB(A) , determinado durante uma série de períodos diurnos, do entardecer e noturnos, representativos de um ano, associado ao incómodo global.

L_n , indicador de ruído noturno – nível sonoro contínuo equivalente, em dB(A) , determinado durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

$L_{Aeq,T}$ (mensal) – nível sonoro contínuo equivalente, em dB(A) , determinado durante uma série de períodos diurnos ou entardecer ou noturnos, representativos de um mês; no caso de a(s) fonte(s) de ruído em avaliação apresentar marcada sazonalidade² em termos de emissão sonora, o mês deve corresponder ao mês mais crítico do ano em termos de emissão sonora.

² O conceito de “sazonalidade” deve ser entendido neste guia como “periodicidade”, tal como utilizado no RGR.

$L_{Aeq,T}$ (diário) – nível sonoro contínuo equivalente, em dB(A), determinado durante um período diurno, entardecer ou noturno.

L_{Ar} ou $L_{Req,T}$ – nível de avaliação ou nível sonoro contínuo equivalente corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular.

2.2.2 Intervalos de tempo relevantes

Ver 2.1.1 e 2.1.2 do presente guia.

2.2.3 Locais (de medição)

Os pontos de medição no exterior devem, sempre que tecnicamente possível, estar afastados, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo, e situar-se a uma altura de 3,8 a 4,2 m acima do solo, quando aplicável, nomeadamente, no âmbito de mapas de ruído municipais (artº7º do RGR), ou de 1,2 a 1,5m de altura acima do solo ou do nível de cada piso de interesse, nos restantes casos.

Citam-se os seguintes exemplos:

Exemplo 1 - O ensaio com o objetivo de validar mapa de ruído calculado a 4 m do solo, deve ser efetuado entre 3,8 a 4,2 m acima do solo.

Exemplo 2 - O ensaio com o objetivo de avaliar uma reclamação de habitante de edifício térreo com jardim, deve ser efetuado entre 1,2 a 1,5m de altura acima do solo.

Exemplo 3 - O ensaio com o objetivo de avaliar uma reclamação de habitante de edifício térreo com jardim, deve ser efetuado afastada, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo.

Exemplo 4 - O ensaio com o objetivo de avaliar o ruído de uma rua com tráfego rodoviário, edifícios de habitação dispostos paralelamente à rua e com 1m de passeio, pode ser efetuado entre 0,5 m a 2 m dos edifícios aplicando uma correção ao valor medido de -3dB, de acordo com o item 8.3.1 c) da NP ISO 1996-2.

Exemplo 5 - O ensaio num 5º andar sem varandas com o objetivo de avaliar uma reclamação de habitante, pode ser efetuado com a janela aberta, colocando o microfone entre 0,5 m a 2 m da fachada e aplicando uma correção ao valor medido de -3dB, de acordo com o item 8.3.1 c) da NP ISO 1996-2.

2.3.4 Incertezas

Os resultados finais das medições/cálculos devem ser arredondados ao número inteiro e sem indicação de incertezas, a fim de serem comparados com os valores-limite estabelecidos no RGR.

3. ASPETOS COMPLEMENTARES PARA APLICAÇÃO DA NP ISO 1996-2

Neste ponto pretende-se, seguindo a estrutura da parte 2 da NP ISO 1996, complementá-la, referindo aspetos considerados necessários para a sua boa aplicação, na avaliação da conformidade com os critérios estabelecidos no RGR.

3.1 Equipamento

Deve ser utilizado um sonómetro de modelo homologado pelo Instituto Português da Qualidade, que detenha certificado de verificação válido para esse ano e que seja, preferencialmente, da classe de exatidão 1.

Antes e depois das medições deve ser feita uma verificação com calibrador portátil; a obtenção de um desvio superior a 0,5dB determinará a não-aceitação dos resultados.

3.2 Procedimento de medição

3.2.1 Funcionamento da fonte (item 6 da NP ISO 1996-2)

A representatividade da caracterização das condições de funcionamento da fonte sonora nos períodos de referência estabelecidos pelo RGR e para obtenção dos indicadores de longa duração L_d , L_e , L_n , $L_{Aeq,T(mensal)}$, é melhor fundamentada recorrendo a medições em contínuo em vez da técnica de amostragem. Todavia, as medições de longa duração em contínuo devem incluir a análise qualitativa do ambiente acústico, de forma a possibilitar a validação dos níveis sonoros registados.

Quando se recorre à técnica de amostragem pode optar-se por medir, durante o período de referência em causa:

- a) Em contínuo em todo o período de referência - neste caso há que estabelecer o número mínimo de períodos de referência para representar o intervalo de tempo de longa duração em questão – um ano ou um mês

Para fontes que não apresentem marcados regimes de sazonalidade deverão ser caracterizados pelo menos dois períodos de referência (por exemplo, dois períodos diurnos).

Para fontes com marcados regimes de sazonalidade (por exemplo, dia útil *versus* fim de semana ou feriado, verão *versus* inverno), deverão ser caracterizados pelo menos dois períodos de referência para cada um desses regimes, ou seja, uma série de quatro períodos de referência (por exemplo, quatro períodos diurnos).

- b) Por amostragem no período de referência - neste caso é fundamental o conhecimento prévio do regime de funcionamento da fonte no período de referência em análise e no intervalo de tempo de longa duração em questão,

para a escolha dos intervalos de tempo de medição (momento de recolha das medições, número de medições e respetiva duração).

Para fontes que não apresentem marcadas flutuações do nível sonoro ao longo do intervalo de tempo de referência nem marcados regimes de sazonalidade, deverão ser caracterizados pelo menos dois dias, cada um com pelo menos uma amostra, em cada um dos períodos de referência que estejam em causa.

Por amostra entende-se um intervalo de tempo de observação que pode conter uma ou mais medições.

Para fontes que apresentem marcadas flutuações do nível sonoro ao longo do intervalo de tempo de referência que se apresentem associadas a ciclos distintos de funcionamento da fonte, devem ser efetuadas pelo menos duas amostras por ciclo. Para obter o valor do indicador de longa duração, mantém-se a necessidade de efetuar recolhas em pelo menos dois dias.

A duração de cada medição é determinada fundamentalmente pela estabilização do sinal sonoro em termos de $L_{Aeq,tr}$ a avaliar pelo operador do sonómetro. Regra geral, para ensaios no interior, a duração mínima de cada medição deve ser de 10 minutos; para ensaios no exterior, a duração mínima deve ser de 15 minutos devido, normalmente, à multiplicidade de fontes e à variabilidade das condições de propagação que influenciam o registo de medição.

Nota 1: Todas as opções de amostragem, incluindo os números de períodos de referência, de amostras, de medições e duração da medição, devem ser devidamente justificadas em relatório, em face da sua representatividade para os intervalos de tempo de referência e de longa duração em causa.

Nota 2: Se a diferença entre os níveis $L_{Aeq,T} / L_{Aeq,t}$ do ruído ambiente, obtidos nas várias amostras/medições, for superior a 5dB(A), deve realizar-se uma ou mais amostras/medições adicionais, a não ser que o(s) ruído(s) particular(es) em avaliação justifique(m) essa diferença, como pode ser o exemplo de uma fonte com ciclos de funcionamento bem distintos do ponto de vista acústico (justificação a constar do relatório).

Nota 3: Como exceção à regra de caracterização do ruído em pelo menos dois dias para obtenção de indicadores de longa duração, pode ser aceitável a caracterização do ruído apenas num dia se o valor obtido de $L_{Aeq,T}$ for igual ou inferior em 10 dB(A) ao valor limite regulamentar aplicável ou ao valor limiar de aplicação do critério de incomodidade.

Sempre que a fonte sonora for caracterizada por acontecimentos acústicos discretos, o valor do indicador de longa duração L_d , L_e , L_n ou $L_{Aeq,T(mensal)}$, pode ser calculado a partir dos valores médios de níveis de exposição sonora L_{AE} associados a cada tipo de acontecimentos, ponderados em função das suas ocorrências relativas no intervalo de tempo de longa duração em causa.

3.2.2 Condições meteorológicas (item 7 da NP ISO 1996-2)

Sempre que se concluir que o ponto recetor está sujeito à influência das condições meteorológicas (isto é, quando não se verificar a equação(2) da NP ISO 1996-2, aplicável a solo poroso), os procedimentos de medição por técnica de amostragem atrás referidos devem ser efetuados preferencialmente sob condições favoráveis à propagação sonora (item 7.2 da NP ISO 1996-2); os níveis sonoros assim obtidos ($L_{Aeq,T}$ (DW)) são corrigidos por aplicação do fator C_{met} de forma a estimar o valor de $L_{Aeq,LT}$ de longa duração:

$$L_{Aeq,LT} = L_{Aeq,T}(DW) - C_{met} \quad \text{equação 3}^3$$

Em alternativa à aplicação do fator C_{met} , devem ser recolhidas amostras numa gama de condições meteorológicas que serão devidamente ponderadas com base em estatísticas meteorológicas representativas do local, de forma a estimar o valor de $L_{Aeq,LT}$ de longa duração (item 7.3 da NP ISO 1996-2). Para o efeito deve utilizar-se a equação 4:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \times \lg \left[p \times 10^{L_{Aeq,T}(F)/10} + (1 - p) \times 10^{L_{Aeq,T}(H)/10} \right] \quad \text{equação 4}^4$$

onde,

$L_{Aeq,T}$ (F), ou $L_{Aeq,T}$ (DW), é o nível sonoro para condições favoráveis à propagação sonora;

$L_{Aeq,T}$ (H), é o nível sonoro para condições homogéneas à propagação sonora;

p é a probabilidade de ocorrência de condições meteorológicas favoráveis à propagação sonora, durante um intervalo de tempo de longa duração

Condições favoráveis à propagação sonora (isto é, $R < 10$ km)

Em princípio, ocorrem condições favoráveis à propagação sonora quando se verificam, cumulativamente, as seguintes condições:

- o vento sopra da fonte sonora dominante para o recetor (no período diurno com um ângulo de $\pm 60^\circ$, no período noturno com um ângulo de $\pm 90^\circ$);
- a velocidade do vento, medida a uma altura de 3,0 m a 11,0 m acima do solo, está entre 2 m/s e 5 m/s durante o período diurno ou superior a 0,5 m/s no período noturno;
- não ocorre um forte gradiente de temperatura negativo junto ao solo, por exemplo, por não se verificar uma forte insolação em período diurno.

A título complementar, o Anexo A da NP ISO 1996-2, ainda que “informativo”, fornece orientações mais detalhadas para determinar se as condições de propagação sonora são favoráveis (Figura A.1, Quadro A.1 e Figura A.4). A título indicativo, no Anexo B deste guia é exemplificado o cálculo detalhado de R de acordo com duas metodologias distintas, NP ISO 1996-2 e documento *IMAGINE*.

³ Equação (6) da NP 4361-2:2001.

⁴ Conforme item 2.2.2 do documento *AR-INTERIM-CM*.

Determinação do fator C_{met}

Para determinar o valor do fator C_{met} por período de referência, pode adotar-se o método referido na NP 4361-2 (item 8), tendo sempre em conta as suas limitações. Segundo esta norma, no caso de uma fonte sonora que possa ser considerada pontual e de emissão constante no tempo:

$$C_{met} = 0 \text{ se } \frac{h_s+h_r}{r} \geq 0,1 \text{ (ou seja, verifica-se a equação (2) da NP ISO 1996-2)}$$

onde,

h_s é a altura da fonte, em metro;

h_r , é a altura do recetor, em metro;

r , é a distância entre a fonte e o recetor, projetada no plano horizontal, em metro;

C_0 é um fator, em decibel, que depende das estatísticas meteorológicas relativas à velocidade e à direção do vento e a gradientes de temperatura

ou

$$C_{met} = C_0 \left[1 - 10 \left(\frac{h_s+h_r}{r} \right) \right] \text{ se } \frac{h_s+h_r}{r} < 0,1 \quad \text{equação 5}^5$$

Para determinação de C_0 deve recorrer-se ao documento AR-INTERIM-CM. Este documento apresenta dois métodos de cálculo de C_0 :

1. método de cálculo simplificado que assume, por defeito, estimativas globais de probabilidade de ocorrência de condições favoráveis à propagação sonora (no período diurno, assume que em 50% do tempo ocorrem condições favoráveis à propagação sonora; no período entardecer, assume 75%, e no período noturno 100%), obtendo-se para os períodos de referência estabelecidos no RGR os seguintes valores de C_0 :

$$C_{0,p.diurno} = 1,47$$

$$C_{0,p.entardecer} = 0,7$$

$$C_{0,p.noturno} = 0$$

2. método de cálculo baseado em dados meteorológicos detalhados do local

Nota 4: No ponto de medição, o efeito do vento no microfone deve ser minimizado. Normalmente, esta condição verifica-se para velocidades do vento inferiores a 5 m/s, quando se utilizam protetor de vento usuais (90 mm de diâmetro).

⁵ Equação (22) da NP 4361-2:2001.

3.2.3 Localização do microfone (item 8.3 da NP ISO 1996-2)

Para medições no exterior, veja-se 2.2.3 deste guia. Regra geral, a localização do ponto de medição deve ser a mais próxima possível do edifício considerado como recetor sensível e da sua fachada mais exposta à fonte em avaliação, garantindo o afastamento de, pelo menos, 3,5 m dessa superfície. Caso o recetor sensível tenha um espaço exterior com função de lazer, o ponto de medição pode localizar-se nesse espaço.

As medições no interior devem ser realizadas:

- a uma altura acima do piso de interesse de 1,2 a 1,5m;
- em zonas de estar (preferencialmente, quartos e salas), não podendo ser efetuadas em zonas de passagem, dispensas ou casas de banho;
- com as portas e janelas do recinto recetor fechadas.

3.3 Ensaios acústicos associados ao critério de incomodidade

Avaliação do ruído ambiente e do ruído residual

O ensaio acústico para caracterização do ruído ambiente deve:

- realizar-se apenas durante a ocorrência do(s) ruído(s) particular(es) da(s) atividade(s) em avaliação e integrar as variações mais significativas da sua emissão;
- em caso de reclamação prévia, realizar-se apenas nas condições de funcionamento da atividade referidas pelo reclamante como estando na origem da incomodidade;
- determinar a eventual presença de características tonais e/ou impulsivas do(s) ruído(s) particular(es).

Nota 5: A ocorrência do ruído particular pode não se associar exclusivamente ao tempo de laboração da atividade num dado período de referência, como por exemplo, o caso de uma atividade em que, durante o seu período de funcionamento, permaneçam ligados determinados equipamentos com emissão sonora.

O ensaio acústico para caracterização do ruído residual (ausência dos ruídos particulares) deve:

- realizar-se nos mesmos pontos de medição em que se realizou o ensaio para caracterização do ruído ambiente (ver *Nota 7* para situações excecionais);
- assegurar que a contribuição das fontes que compõem o ruído residual seja idêntica à verificada no ensaio relativo ao ruído ambiente;

- realizar-se em dias da semana e em horários que sejam, do ponto de vista acústico, comparáveis com os dias da semana e horários nos quais tenha sido realizado o ensaio referente ao ruído ambiente. Deste modo, com exceção de zonas que evidenciem estabilidade do ponto de vista acústico ao longo de todos os dias semanais (o que deverá ser justificado em relatório), não devem ser comparados, e dando o exemplo de uma situação comum, dados acústicos respeitantes ao ruído ambiente recolhidos em dias de fim de semana ou feriados com dados do ruído residual que tenham sido recolhidos em dias úteis da semana, e vice-versa;
- no caso de deteção de características tonais e/ou impulsivas no ensaio relativo ao ruído ambiente, verificar se as mesmas são devidas ao ruído residual.

Nota 6: De forma a garantir a caracterização correta do ruído residual, deve ser previamente assegurado que a fonte em avaliação cesse por inteiro o seu funcionamento nos períodos selecionados para a avaliação, preferencialmente encerrando a atividade.

Nota 7: Se for tecnicamente impossível cessar a atividade, a metodologia de determinação do ruído residual deve ser aprovada pela CCDR territorialmente competente (nº6 do artº13º do RGR). Regra geral, pode ser adotado um dos seguintes procedimentos:

Procedimento 1

1º Medir ruído ambiente (RA) e simular ruído particular (RP), em termos do indicador $L_{Aeq,T}$, por adoção de método de cálculo adequado e de opções de cálculo o mais rigorosas possível, nunca menos exigentes do que as recomendadas para mapas de ruído de PU/PP, tal como constantes do documento “Diretrizes para elaboração de mapas de ruído” (junho 2008, APA);

2º Calcular a diferença logarítmica entre RA e RP, para estimativa do ruído residual (RR), em termos do indicador $L_{Aeq,T}$ (mensal)

$$L_{Aeq,T}(RA) \ominus L_{Aeq,T}(RP) = L_{Aeq,T}(RR), \text{ se } L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RP) > 3dB(A)$$

Procedimento 2

Escolher pontos de medição de ruído residual, distintos dos pontos de medição do ruído ambiente, nos quais a influência sonora da fonte em avaliação seja nula e as demais fontes sonoras e sua influência sejam idênticas às verificadas nas medições de ruído ambiente.

Os ensaios acústicos para caracterização do ruído ambiente e do ruído residual:

- devem ter em conta o referido no item 3.2 do presente guia, no que respeita ao número de amostras e duração das medições, tendo em vista a representatividade de um mês;

- não devem integrar ocorrências fortuitas relativamente às quais não haja segurança quanto à sua repetição (com duração e intensidade similares) nas diversas medições a realizar no âmbito da mesma avaliação;
- quando realizados no interior de edifícios habitacionais, escolares, hospitalares ou similares, com *ocupação* humana, devem decorrer na presença dos técnicos, mesmo que sejam utilizados sistemas de medição em contínuo.

Avaliação da tonalidade e da impulsividade

O sonómetro deve ser configurado para:

- malha A de ponderação na frequência;
- ponderação temporal “fast”;
- filtros de bandas de frequências de um terço de oitava, com frequências centrais entre 50 Hz e 10000 Hz;
- a opção de medição em simultâneo de L_{AIm} e L_{Aeq} ;
- a opção “random” de direccionalidade do microfone (campo difuso), exceto em medições no exterior com o microfone orientado para a fonte dominante, caso em que deverá ser seleccionada a opção “frontal”.

Caso se detetem, no ensaio relativo ao ruído residual:

- componentes tonais nas mesmas bandas de terço de oitava detetadas no ensaio de ruído ambiente, não deve ser aplicado a correção tonal K_1 ao ruído ambiente;
- componentes impulsivas, não deve ser aplicado a correção impulsiva K_2 ao ruído ambiente.

Em caso de se concluir, no ensaio relativo ao ruído ambiente:

- da ocorrência de tonalidade, em relatório devem ser indicados os valores obtidos para cada banda de terço de oitava tonal, bem como o espectro de frequência em forma de tabela; K_1 é aplicado apenas às condições e pelo período de tempo de funcionamento da fonte em avaliação em que é detetada a tonalidade (item 6.3.2 da NP ISO 1996-1);
- da ocorrência de impulsividade, os respetivos dados devem constar numa tabela a incluir no relatório; K_2 é aplicado apenas às condições e pelo período de tempo de funcionamento da fonte em avaliação em que é detetada a impulsividade tonalidade (item 6.3.2 da NP ISO 1996-1).

Nota 8: A avaliação do critério de incomodidade no interior de edifícios de utilização sensível (na aceção do RGR) dispensa a consideração das condições meteorológicas sempre que a(s) fonte(s) sonora(s) em avaliação se localize(m) nesse mesmo edifício ou em edifício adjacente, ou não o sendo, se verifique a equação (2) da NP ISO 1996-2.

3.4 Ensaios acústicos associados ao valor limite de exposição

A determinação do valor de L_{den} baseia-se na recolha de valores de $L_{Aeq,t}$ em cada um dos três períodos de referência, representativos de L_d , L_e e L_n . Os respetivos ensaios acústicos:

- devem ter em conta o referido no item 3.2 do presente guia, no que respeita ao número de amostras e duração das medições, tendo em vista a representatividade de um ano, e à localização do ponto de medição;
- por período de referência, devem incluir a recolha de amostras durante o período de laboração da atividade/fonte em avaliação, e fora deste (se aplicável), de forma a integrar, no cálculo de L_d , L_e , e L_n , os valores medidos de $L_{Aeq,t}$ associados a cada situação;
- não devem integrar fontes sonoras de carácter temporário, por exemplo, obras, festividades;

Para determinação do valor de L_{den} associado a atividades ruidosas permanentes que só laborem no período diurno, é aceitável como método expedito que o valor de L_n seja retirado do mapa municipal de ruído, se aplicável, isto é, se as fontes sonoras simuladas no mapa traduzirem com detalhe o ruído do local e se a altura de avaliação acima do solo coincidir com a do mapa. O valor de L_e terá que ser necessariamente medido.

Em caso de ultrapassagem do valor limite de L_{den} e, se aplicável, de L_n , deve ser avaliada a eventual responsabilidade ou corresponsabilidade da fonte sonora. Para o efeito, deve ser determinado o ruído particular (RP) da fonte por período de referência e comparado com o respetivo valor de ruído residual (RR), em termos do indicador $L_{Aeq,T}$ de longa duração (anual) aplicável. Em caso de:

- $L_{Aeq,T}(RP) - L_{Aeq,T}(RR) \geq 10dB(A)$, a responsabilidade do incumprimento legal é exclusiva da fonte sonora em avaliação;
- $L_{Aeq,T}(RR) - L_{Aeq,T}(RP) \geq 10dB(A)$, a responsabilidade do incumprimento legal não é atribuível à fonte sonora, mas sim à(s) fonte(s) que compõe(m) o ruído residual;
- $L_{Aeq,T}(RP)$ e $L_{Aeq,T}(RR)$ diferirem em menos do que $10dB(A)$, a fonte sonora é corresponsável pelo incumprimento.

A determinação de RP pode ser feita de duas maneiras:

- por simulação, recorrendo a método de cálculo e requisitos mínimos constantes do documento “Diretrizes para elaboração de mapas de ruído” (junho 2008, APA);
- por subtração logarítmica entre RA e RR

$$L_{Aeq,T}(RA) \ominus L_{Aeq,T}(RP) = L_{Aeq,T}(RR), \text{ se } L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RP) > 3dB(A).$$

Nota 9: A avaliação do cumprimento do valor limite de exposição (comummente designado por 'critério de exposição máxima') é dispensável para uma atividade permanente que não tenha emissões sonoras para o exterior do edifício/espaco onde se insere, já que assim não preencherá o conceito de "atividade ruidosa permanente" em relação a pontos exteriores associados a recetores sensíveis.

3.5 Tratamento de resultados

Neste item apresentam-se as várias fórmulas matemáticas necessárias ao cálculo dos indicadores regulamentares a partir dos valores obtidos nos ensaios acústicos.

Cálculo da média logarítmica

A média logarítmica de várias medições deve ser calculada com a equação 6:

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Aeq,t})_i / 10} \right] \quad \text{equação 6}$$

onde,

n é o número de medições,

$(L_{Aeq,t})_i$ é o valor do nível sonoro correspondente à medição i.

Cálculo da média logarítmica ponderada

Quando é possível identificar a ocorrência de ciclos no ruído que se pretende caracterizar, deve ser aplicada a equação 7:

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{(L_{Aeq,t})_i / 10} \right) \quad \text{equação 7}$$

onde,

n é o número de ciclos,

t_i é a duração ciclo i,

L_{Aeq,t_i} é o nível sonoro do ciclo i,

$T = \sum t_i$ corresponde à duração total de ocorrência do ruído a caracterizar, no período de referência em análise.

Cálculo do nível de avaliação contínuo equivalente do ruído ambiente

Sempre que for detetada a existência de componentes tonais ou impulsivas no ruído ambiente, torna-se necessário calcular o valor do nível de avaliação contínuo equivalente, L_{Ar} ou $L_{Req,T}$.

Caso as características tonais e impulsivas sejam observadas em todo o período de ocorrência do ruído particular, o nível de avaliação é calculado de acordo com a equação 8:

$$L_{Ar} = L_{Aeq,T} + K_1 + K_2 \quad \text{equação 8}$$

onde,

$K_1 = 3\text{dB}$, se o ruído for tonal;

$K_2 = 3\text{dB}$, se o ruído for impulsivo.

Caso as características tonais e impulsivas sejam observadas em apenas parte do período de ocorrência do ruído particular, os valores das correções K_1 e K_2 devem ser adicionados apenas aos valores de $L_{Aeq,ti}$ correspondentes ao ciclo em que são identificadas, de acordo com a equação 9:

$$L_{Ar} = 10 \times \lg \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{(L_{Aeq,ti})_i + K_{1i} + K_{2i}} / 10 \right) \quad \text{equação 9}$$

onde,

t_i é a duração do ciclo i ,

$L_{Aeq,ti}$ é o nível sonoro contínuo equivalente do ciclo i ,

$T = \sum t_i$ corresponde à duração total de ocorrência do ruído particular, no período de referência em análise,

K_{1i} é a correção tonal aplicável ao ciclo i ; $K_{1i} = 3\text{dB}$,

K_{2i} é a correção impulsiva aplicável ao ciclo i ; $K_{2i} = 3\text{dB}$.

Cálculo de $L_{Aeq,T}$ a partir de L_{AE}

Para cada tipo de acontecimento acústico discreto, tem-se

$$L_{Aeq,T} = \overline{L_{AE}} + 10 \times \lg n - 10 \times \lg \left(\frac{T}{t_0} \right) \quad \text{equação 10}$$

onde,

$\overline{L_{AE}}$ é o nível de exposição sonora médio de n acontecimentos acústicos do mesmo tipo, no intervalo de tempo T (em segundos),

$t_0 = 1$ segundo.

4. CONTEÚDO MÍNIMO DO RELATÓRIO DO ENSAIO ACÚSTICO

No relatório deve constar a seguinte informação:

- Descrição detalhada do local de medição complementada com fotografias⁶, incluindo:
 - localização de fontes sonoras relevantes (referindo distâncias ao(s) ponto(s) de medição);
 - posições do microfone (incluindo alturas acima do solo/piso de interesse e distâncias a superfícies refletoras e obstáculos);
 - características do solo envolvente.
- Descrição das condições de funcionamento da(s) fonte(s) em avaliação durante a medição, incluindo, se relevante, o número de passagens de veículos/comboios/aviões por categoria;
- Descrição das condições meteorológicas, incluindo velocidade do vento, direção do vento, nebulosidade, temperatura, humidade, presença de precipitação e localização do anemómetro e identificação das condições de propagação sonora (favoráveis, não favoráveis, outras);
- Dias em que se realizaram as medições e respetivos intervalos de tempo (hora de início e duração), incluindo a fundamentação da representatividade das amostras recolhidas face aos intervalos de tempo de referência e de longa duração em causa;
- Informação sobre o sistema de medição;
- Valores medidos dos indicadores relevantes $L_{Aeq,T}$, $L_{A,r}$, L_d , L_e , L_n ou L_{AE} , e, se aplicável, indicação dos valores obtidos $L_{Aeq,t}$ em bandas de terços de oitava assinalando a(s) banda(s) tonal(ais) e indicação da diferença entre $L_{Aeq,t}$ medidos em simultâneo com característica impulsiva e *fast* assinalando as medições em que se detetou a impulsividade; se aplicável, incluir justificação da obtenção de amostras/medições com diferenças de $L_{Aeq,T}/L_{Aeq,t}$ superiores a 5dB(A).
- Tratamento de resultados, incluindo correções aos valores medidos e cálculos intermédios para obtenção dos valores finais dos indicadores regulamentares;
- Método(s) utilizado(s) para extrapolação dos valores para outras condições, se for o caso;
- Registos dos níveis sonoros em forma de adenda ao relatório, quando solicitados pelas autoridades administrativas;

⁶ Excepciona-se a inclusão de fotografias nos relatórios relativos a avaliação do critério de incomodidade no interior de edifícios.

5. DOCUMENTOS TÉCNICOS A CONSULTAR

- Norma Portuguesa NP 4361 (2001) – Acústica. Atenuação do som na sua propagação ao ar livre. Parte 2: Método geral de cálculo. Instituto Português da Qualidade, dezembro 2001.
- Diretrizes para elaboração de mapas de ruído. Agência Portuguesa do Ambiente, junho 2008.
- *AR-INTERIM-CM* - Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping - Final Draft Report. Wölfel Meßsysteme Software GmbH & Co *et al.*. European Commission DG Environment research contract B4-3040/2001/329750/MAR/C1, 2003.
- *IMAGINE* – Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment. Determination of L_{den} and L_{night} using measurements – 8th draft. IMA32TR-040510-SP08. January 2006.
- The sounds of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Van den Berg. University of Groningen, Groningen, The Netherlands., 2006.
- International Standard IEC 61400-11 - Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques. Edition 2:2002 consolidated with amendment 1:2006. IEC, 2006.

ANEXO A - EXEMPLOS PRÁTICOS DE APLICAÇÃO DA NP ISO 1996

Neste Anexo apresentam-se vários exemplos práticos para ilustrar a aplicação dos procedimentos de medição estabelecidos na NP ISO 1996 e no presente guia, bem como o tratamento e análise de resultados à luz do RGR. Como exemplos que são, não devem ser interpretados como modelos únicos de abordagem para a realização do ensaio em causa, nem esgotam algumas variantes possíveis de tratamento de resultados.

Cada exemplo foca apenas aspetos essenciais para a ilustração pretendida, não sendo apresentado sob a forma de relatório de medição. Os Exemplos 1 a 3 pretendem ilustrar ensaios realizados no interior de uma fração, para avaliação do critério de incomodidade: os Exemplos 1 e 2 focam, respetivamente, a tonalidade e a impulsividade *associadas* ao funcionamento da atividade em avaliação; o Exemplo 3 centra-se num caso recorrente em ações de fiscalização, quando se detetam discrepâncias no valor de ruído residual entre ensaios realizados por entidades distintas, sugerindo-se uma análise dos dados processuais para aferir da conformidade do exercício da atividade com o RGR. Os Exemplos 4 a 8 ilustram ensaios no exterior: o Exemplo 4 pretende ilustrar a avaliação do cumprimento dos requisitos acústicos estabelecidos no RGR para uma atividade ruidosa permanente (no caso, indústria) cuja influência sonora, no ponto de medição, é interferida por ruído de tráfego rodoviário e pelas condições meteorológicas (sendo este último aspeto, um enfoque da nova norma); o Exemplo 5 trabalha este aspeto das condições meteorológicas, as quais são particularmente relevantes num parque eólico, quer no lado das “janelas de emissão” quer em termos de propagação; o Exemplo 6 apresenta um outro aspeto também com especial enfoque na nova norma – a determinação de $L_{Aeq,T}$ a partir da medição de L_{AE} de um número estatisticamente representativo de eventos acústicos discretos, no caso, passagem de comboios; o Exemplo 7 expõe um caso frequente – avaliação de ruído de tráfego rodoviário de uma via da qual não se detém informação de tráfego – em que será preferível proceder a medições em contínuo em detrimento de medições de curta duração, fazendo uso das tecnologias disponíveis; no Exemplo 8, referente a ruído de atividade ruidosa temporária, destaca-se a importância da escolha do dia para determinação do valor de $L_{Aeq,T}$ para simplificação da fiscalização deste tipo de fonte sonora.

É adotada a notação de “RA” para “ruído ambiente”, “RR” para “ruído residual”, “RP” para “ruído particular”, e os símbolos \oplus e \ominus , respetivamente, para soma e subtração logarítmica dos níveis sonoros.

Os exemplos práticos seguem, na generalidade, a seguinte estrutura de apresentação:

- 1 Funcionamento da fonte
- 2 Condições meteorológicas
- 3 Procedimento de medição
 - a) Local de medição/localização do microfone
 - b) Intervalos de tempo de medição
 - c) Medições
- 4 Resultados
- 5 Tratamento de resultados
- 6 Conclusões

A.1 Medições no interior

Exemplo 1 – Avaliação do critério de incomodidade relativo a ruído de estabelecimento de restauração e bebidas (café) em que o ruído apresenta características tonais

1. Funcionamento da fonte

No período noturno, a atividade é exercida entre as 23 e as 24 horas, e as fontes passíveis de provocar ruído são a movimentação de pessoas, vozes, arrastamento de cadeiras e mesas, manuseamento da máquina de café, funcionamento de extratores e televisão instalada no estabelecimento.

2. Condições meteorológicas (não aplicável a medições realizadas no interior).

3. Procedimento de medição

a) Local de medição/localização do microfone

As medições acústicas foram realizadas em três posições distintas num quarto da habitação sobreposta ao estabelecimento, obedecendo ao ponto 8.3.2 da NP ISO 1996-2 e a uma altura de 1,5 m acima do piso.

b) Intervalo de tempo de medição

Ruído ambiente: foram realizadas três medições de cerca de 15 minutos cada, nos dias 1 e 2, num total de seis medições.

Ruído residual: foram realizadas três medições de cerca de 15 minutos cada, nos dias 3 e 4, num total de seis medições.

c) Medições

Ruído ambiente: no recinto recetor foram audíveis vozes, arrastamento de cadeiras e mesas, ruído resultante da utilização do manípulo do filtro da máquina de café e ruído provocado pelo funcionamento de extratores, ruído proveniente de uma televisão instalada no estabelecimento.

Ruído residual: no recinto recetor não era audível nenhuma fonte de ruído significativa, sendo esporádica e ténue a influência de ruídos de vizinhança. Nos dias 3 e 4, o estabelecimento encontrava-se encerrado por imposição administrativa da câmara municipal respetiva.

O ruído ambiente e o ruído residual foram medidos no espectro de um terço de oitava, entre 50 Hz e 10000 Hz, para verificação da existência de componentes tonais. Para verificação da existência de componentes impulsivas, foi utilizada no sonómetro a opção $L_{Aim}-L_{Aeq}$. Foi detetada tonalidade nas três posições, em ambos os dias em que se caracterizou o ruído ambiente, associada ao funcionamento dos extratores.

4. Resultados e tratamento de resultados

Ruído ambiente					Ruído residual			
	Posição	L _{Aeq,t} dB(A)	Carac. tonais impulsivas	L _{Ar} dB(A)		Posição	L _{Aeq,t} dB(A)	Carac. tonais impulsivas
Dia 1	1	31,5	K1	34,5	Dia 3	1	23,7	--
	2	32,7	K1	35,7		2	24,5	--
	3	32,5	K1	35,5		3	22,7	--
Valor médio do dia 1 (aplicando eq. 6 e 9)		32,3	--	35,3	L _{Aeq,T} médio (aplicando eq.6)		23,7	--
Dia 2	1	32,2	K1	35,2	Dia 4	1	23,5	--
	2	33,2	K1	36,2		2	24,2	--
	3	31,7	K1	34,7		3	23,7	--
Valor médio do dia 2 (aplicando eq. 6 e 9)		32,4	--	35,4	L _{Aeq,T} médio (aplicando eq.6)		23,8	--
Valor médio dos dias 1 e 2 (aplicando eq.6)		32,3	--	35,4	L _{Aeq,T} médio dos dias 3 e 4 (aplicando eq.6)		23,8	--

Excerto da análise de frequências na posição 2 (tonalidade no ruído ambiente aos 100 Hz e inexistente no ruído residual)

Ruído ambiente			Ruído residual		
	Banda 1/3 oit (Hz)	L _{Aeq,t} (dB(A))		Banda 1/3 oit (Hz)	L _{Aeq,t} (dB(A))
Dia 1	80	18,5	Dia 3	80	9,2
	100	23,9		100	10,2
	125	18,1		125	8,9
Dia 2	80	18,7	Dia 4	80	9,5
	100	24,2		100	9,7
	125	18,5		125	9,2

$$L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) = 35,4 - 23,8 = 11,6 \text{ dB(A)}$$

5. Conclusão

Fonte sonora a funcionar 1 hora (das 23 às 24h) no período noturno (8h), logo $q=1/8=12,5\%$ e, portanto, $D = 3$ pois a atividade funciona até às 24 horas. A atividade deve, então, cumprir a seguinte condição:

$$L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) \leq 3+3 \text{ dB(A)}$$

Como se obteve $L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) = 12\text{dB(A)}$, a atividade não cumpre a alínea b) do n.º 3 do artigo 13.º do RGR.

Exemplo 2 - Avaliação do critério de incomodidade relativo a ruído de estabelecimento de restauração e bebidas (bar) em que o ruído apresenta dois regimes de funcionamento distintos e características impulsivas num dos regimes

1. Funcionamento da fonte

No período noturno, a atividade é exercida entre as 23 e as 4 horas, e as fontes passíveis de provocar ruído são a música (gravada), espetáculo de *karaoke*, funcionamento de compressores de refrigeração das arcas frigoríficas e sistema de permutação de calor.

2. Condições meteorológicas (não aplicável a medições realizadas no interior)

3. Procedimento de medição

a) Local de medição/localização do microfone

As medições acústicas foram realizadas em três posições distintas num quarto da habitação sobreposta ao estabelecimento, obedecendo ao ponto 8.3.2 da NP ISO 1996-2 e a uma altura de 1,5 m acima do piso.

b) Intervalo de tempo de medição

Ruído ambiente: Foram realizadas três medições de cerca de 15 minutos cada, nos dias 1 e 2, num total de seis medições.

Ruído residual: Foram realizadas três medições de cerca de 15 minutos cada, nos dias 3 e 4, num total de seis medições.

c) Medições

Ruído ambiente: no recinto recetor foi audível ruído resultante de difusão de música gravada, ruído resultante de espetáculo de *karaoke*, ruído provocado pelo funcionamento de compressores de refrigeração e de um sistema de permutação de calor.

Ruído residual: no recinto recetor não era audível nenhuma fonte de ruído significativa, sendo esporádica e ténue a influência de ruídos de vizinhança. Nos dias 3 e 4, o estabelecimento encontrava-se encerrado por imposição administrativa da câmara municipal respetiva.

O ruído ambiente e o ruído residual foram medidos no espectro de um terço de oitava, entre 50 Hz e 10000 Hz, para verificação da existência de componentes tonais. Para verificação da existência de componentes impulsivas, foi utilizada no sonómetro a opção $L_{Aim}-L_{Aeq}$. Foi detetada impulsividade nas posições 1, 2 e 3, coincidente com a ocorrência de ruído do espetáculo de *karaoke*.

4. Resultados e tratamento de resultados

Ruído ambiente, dia 1					Ruído ambiente, dia 2				
Música gravada (≈240 minutos)	Posição	L _{Aeq,t}	Carac. tonais impulsivas	L _{Ar}	Música gravada (≈260 minutos)	Posição	L _{Aeq,t}	Carac. tonais impulsivas	L _{Ar}
	1	32,4	--	32,4		1	32,7	--	32,7
	2	33,7	--	33,7		2	33,6	--	33,6
	3	34,5	--	34,5		3	36,7	--	36,7
Valor médio (aplicando eq. 6)		33,6	--	33,6	Valor médio (aplicando eq.6)		34,7	--	34,7
Karaoke (≈60 min)	1	36,5	K ₂	39,5	Karaoke (≈40 min)	1	37,0	K ₂	40,0
	2	37,2	K ₂	40,2		2	36,5	K ₂	39,5
	3	36,7	K ₂	39,7		3	36,2	K ₂	39,2
Valor médio (aplicando eq. 6 e 8)		36,8		39,8	Valor médio (aplicando eq.6 e 8)		36,6		39,6
Valor médio dia 1 (aplicando eq.7)		34,5		35,7 ¹⁾	Valor médio dia 2 (aplicando eq.7)		35,0		35,8 ²⁾
L _{Aeq,T} médio dos dias 1 (aplicando equação 6)				34,8					
L _{Ar} médio dos dias 1 (aplicando equação 6)				35,8					

$$1) L_{Aeq,T} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{300} \times \left(240 \times 10^{33,6/10} + 60 \times 10^{39,8/10} \right) \right] = 35,7 \text{ dB(A)}$$

$$2) L_{Aeq,T} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{300} \times \left(260 \times 10^{34,7/10} + 40 \times 10^{39,6/10} \right) \right] = 35,8 \text{ dB(A)}$$

Ruído residual							
	Posição	L _{Aeq,t}	Carac. tonais impulsivas		Posição	L _{Aeq,t}	Carac. tonais impulsivas
Dia 3	1	22,6	--	Dia 4	1	22,6	--
	2	22,4	--		2	21,7	--
	3	21,7	--		3	21,4	--
L _{Aeq,T} médio (aplicando eq.6)		22,3	--	L _{Aeq,T} médio (aplicando eq.6)		21,9	--
L _{Aeq,T} médio dos dias 3 e 4 (aplicando eq.6)		22,1					

Resumo da análise de impulsividade (impulsividade detetada no ruído ambiente nas várias posições de medição e inexistente no ruído residual)

Ruído ambiente			Ruído residual		
	Posição	L _{AImp} -L _{Aeq} (dB(A))		Posição	L _{AImp} -L _{Aeq} (dB(A))
Dia 1	1	43,4 - 36,5 = 6,9	Dia 3	1	24,3 - 22,6 = 1,7
	2	44,2 - 37,2 = 7,0		2	24,5 - 22,4 = 2,1
	3	43,5 - 36,7 = 6,8		3	24,2 - 21,7 = 2,5
Dia 2	1	44,5 - 37,0 = 7,5	Dia 4	1	24,8 - 22,6 = 2,2
	2	44,2 - 36,5 = 7,7		2	24,1 - 21,7 = 2,4
	3	42,5 - 36,2 = 6,3		3	24,0 - 21,4 = 2,6

$$L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) = 35,8 - 22,1 = 13,7 \text{ dB(A)}$$

5. Conclusão

Fonte sonora a funcionar 5 horas (das 23 às 4h) no período noturno (8h), logo $q=5/8=62,5\%$ e, portanto, $D=1$. A atividade deve, então, cumprir a seguinte condição:

$$L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) \leq 3+1 \text{ dB(A)}$$

Como se obteve $L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) = 14\text{dB(A)}$, a atividade não cumpre a alínea b) do n.º 3 do artigo 13.º do RGR.

Exemplo 3 – Avaliação do critério de incomodidade relativo a ruído de estabelecimento de restauração e bebidas (café), antes e depois de adotadas medidas de redução de ruído – análise do ruído particular e do ruído residual

O exemplo 3 pretende ilustrar a análise e tratamento dos dados processuais em resultado de vários ensaios acústicos, antes e depois de adotadas medidas de redução de ruído, para concluir da verificação ou não do cumprimento do RGR.

1. Funcionamento da fonte

Atividade com laboração das 10 às 19h, no período diurno (logo, D=1).

2. Avaliação do critério de incomodidade antes de adotadas medidas de redução de ruído

Resultados finais da ação de fiscalização:

$$L_{Aeq,T}(RA1) = 37,2dB(A)$$

$$L_{Aeq,T}(RR1) = 24,2dB(A)$$

A situação é não regulamentar pois o estabelecimento deveria cumprir a condição $L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) \leq 5+1dB(A)$ e obteve-se $L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) = 13dB(A)$, logo viola o critério de incomodidade por 7dB(A).

3. Avaliação do critério de incomodidade depois de adotadas medidas de redução de ruído

Resultados da 2ª avaliação efetuada por laboratório Y em nome do agente económico:

$$L_{Aeq,T}(RA2) = 35,1dB(A)$$

$$L_{Aeq,T}(RR2) = 29dB(A)$$

A situação é considerada regulamentar pelo laboratório Y pois obteve $L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR) = 6,1dB(A) \approx 6dB(A)$.

4. Análise do histórico dos dados acústicos e conclusão

Cabe à entidade licenciadora e/ou fiscalizadora na qual os relatórios de ensaios acústicos dão entrada fazer a respetiva apreciação técnica, tendo em consideração o histórico processual respeitante aos dados acústicos obtidos para cada situação em apreciação.

De acordo com os resultados da 1ª avaliação, verifica-se que os valores a obter após a adoção de medidas de redução de ruído devem ser:

$$- L_{Aeq,T}(RA) \text{ até } 30,2dB(A), \text{ ou seja, diminuir, pelo menos, } 7dB(A);$$

$$L_{Aeq,T}(RA) = L_{Aeq,T}(RA1) - \text{amplitude do incumprimento} = 37,2 - 7 = 30,2dB(A)$$

- $L_{Aeq,T}(RP1)$ estimado até 29dB, ou seja, diminuir, pelo menos, 8dB(A);

$$L_{Aeq,T}(RP1) = L_{Aeq,T}(RA) \ominus L_{Aeq,T}(RR1) = 30,2 \ominus 24,2 \approx 29dB$$

Contudo, comparando as 1ª e 2ª avaliações, verifica-se:

- $L_{Aeq,T}(RA2) = 35,1dB(A)$, ou seja, apenas diminuiu 2dB(A);

- $L_{Aeq,T}(RR2)$ com um significativo aumento de 5dB(A), sem justificação em virtude de não terem surgido novas fontes sonoras no local;

- $L_{Aeq,T}(RP2)$ estimado de 33,9dB, ou seja, o que demonstra a insuficiente eficácia das medidas adotadas (note-se que este valor de $L_{Aeq,T}(RP2)$ é um valor mínimo pois foi calculado a partir de $L_{Aeq,T}(RR2)$ que se considerou sobrestimado e sem justificação).

Assim, conclui-se que a não conformidade regulamentar se mantém.

É ainda possível quantificar, por estimativa, o diferencial $L_{Aeq,T}(RA) - L_{Aeq,T}(RR)$ que sustenta aquela conclusão:

$$1^{\circ} L_{Aeq,T}(RA) \text{ calculado} = L_{Aeq,T}(RP2) \oplus L_{Aeq,T}(RR1) = 33,9 \oplus 24,2 = 34,3dB$$

$$2^{\circ} L_{Aeq,T}(RA) \text{ calculado} - L_{Aeq,T}(RR1) = 34,3 - 24,2 = 10 > 6dB(A)$$

Face ao exemplo apresentado é ainda de realçar que, no âmbito de uma ação de fiscalização, quando se conclui do incumprimento do critério de incomodidade, é vantajoso fixar as amplitudes da redução em termos de ruído ambiente e de ruído particular necessárias à regularização do exercício da atividade, bem como referir o valor de $L_{Aeq,T}(RR)$ que determina essas reduções.

A.2 Medições no exterior

A.2.1 Atividade ruidosa permanente

Exemplo 4 – Avaliação do critério de incomodidade e do valor limite de exposição relativo a ruído de indústria

1. Funcionamento da fonte

Indústria com laboração das 8h às 12h e das 13h às 17h. Período da manhã com funcionamento de máquinas de injeção de plásticos; à tarde funcionam ventiladores que se sobrepõem em termos de ruído. Rodovia a cerca de 30 metros, com movimento de veículos.

Altura da fonte: 6 m.

2. Condições meteorológicas

Vento de noroeste com velocidades entre 1 m/s e 3 m/s a 4 m; temperatura entre 18°C e 25°C, ao longo do dia; humidade relativa entre 45% e 50%; pressão atmosférica entre 1010 hPa a 1015 hPa.

Atendendo a $h_s=6m$, $h_r=4m$ e $r=150m$, e à presença de solo poroso, não se verifica a equação (2) da NP ISO 1996-2 no caso em avaliação, pelo que se atenderá às condições meteorológicas para determinação de $L_{Aeq,LT}$ da equação (3) deste guia.

3. Procedimento de medição

a) Local de medição / localização do microfone

Junto do recetor sensível mais próximo (casa de 2 pisos), a cerca de 150 m a sul da indústria; medição a 4 m de altura, afastado 3,5 m de paredes ou outras estruturas refletoras.

b) Intervalos de tempo de medição

Ruído ambiente: Foram realizadas três medições de cerca de 20 a 25 minutos cada, para caracterização dos dois regimes de funcionamento da indústria (período da manhã e período da tarde), em cada um dos dois dias, num total de 12 medições.

Ruído residual: no período de referência diurno, com a indústria parada, foram realizadas três medições de cerca de 20 a 25 minutos cada, nos períodos 11-12h, 16-17h e 17-20h, em cada um dos dois dias, num total de 12 medições.

Adicionalmente, para determinação do valor de L_{den} , foram recolhidas três medições também de cerca de 20 a 25 minutos cada, no período entardecer (20-23h), em cada um daqueles dois dias, num total de 6 medições; o valor de L_n foi obtido por consulta do mapa de ruído municipal cujo detalhe de simulação foi considerado adequado para caracterizar o ambiente sonoro no ponto de avaliação.

c) Medições

Ruído ambiente: no ponto recetor foi audível ruído resultante do funcionamento da indústria, bem como ruído de circulação de tráfego rodoviário.

Ruído residual: no ponto recetor era apenas audível ruído de circulação de tráfego rodoviário.

O ruído ambiente e o ruído residual foram medidos no espectro de um terço de oitava, entre 50 Hz e 10000 Hz, para verificação da existência de componentes tonais. Para verificação da existência de componentes impulsivas, foi utilizada no sonómetro a opção $L_{Aim}-L_{Aeq}$. Foi detetada tonalidade no período da tarde, coincidente com o funcionamento dos ventiladores.

4. Resultados

Tabela 1. Ruído ambiente

Data	Hora início	Duração minutos	$L_{Aeq,t}$ dB(A)	Nºveíc./ medição	Tráfego % VP	Temp °C	H.R. %	Vento m/s	Vento direção
Dia 1 26-04	10:30	22	61,5	75	5	20	56	2	NO
	11:00	24	60,2	67	5	23	54	2,5	NO
	11:30	20	60,6	58	6	24	54	2,2	NO
	13:30	22	61,0	54	5	26	52	2	NO
	14:30	22	60,7	72	5	25	53	2,5	NO
	15:10	21	60,4	69	6	24	54	2,2	NO
28-04	Dia 28-04 previsão de vento sul, não adequado às medições – cancelado								
Dia 2 05-05	8:30	23	60,7	75	5	19	56	2	NO
	9:00	23	61,0	75	5	21	54	2,5	NO
	10:30	20	60,8	63	6	22	54	2,2	NO
	13:30	21	60,2	55	5	23	52	2	NO
	14:30	20	60,2	76	5	23	53	2,5	NO
	15:10	22	60,6	79	6	22	54	2,2	NO

Tabela 2. Ruído residual

Data	Hora	Duração minutos	$L_{Aeq,t}$ dB(A)	Nºveíc./ medição	Tráfego % VP	Temp °C	H.R. %	Vento m/s	Vento direção
Dia 1 26-04	16:00	20	59,2	67	5	26	52	2	NO
	16:20	20	58,1	71	5	25	53	2,5	NO
	16:40	20	59,0	73	6	24	54	2,2	NO
	17:30	22	59,3	77	5	23	52	2	NO
	18:20	22	58,9	76	5	22	53	2,5	NO
	19:10	24	58,1	69	6	20	54	2,2	NO
	20:00	25	56,4	49	5	18	52	2	NO
	21:00	22	55,0	37	5	17	53	2,5	NO
	22:00	24	54,7	34	6	17	54	2,2	NO
28-04	Dia 28-04 previsão de vento sul, não adequado às medições – cancelado.								
Dia 2 05-05	11:00	20	58,2	70	5	21	56	2	NO
	11:20	20	57,9	63	5	21	54	2,5	NO
	11:40	20	58,1	65	6	21	54	2,2	NO
	17:30	23	59,3	75	5	20	52	2	NO
	18:20	22	59,2	73	5	19	53	2,5	NO
	19:10	24	58,2	70	6	18	54	2,2	NO
	20:00	25	56,8	50	5	16	52	2	NO
	21:00	24	54,2	33	5	16	53	2,5	NO
	22:00	23	53,5	31	6	15	54	2,2	NO

Excerto da análise em frequência (tonalidade no ruído ambiente aos 250 Hz e inexistente no ruído residual, associada aos ventiladores), no período da tarde.

		Ruído ambiente				Ruído residual	
		Banda 1/3 oit (Hz)	L _{Aeq,t} (dB(A))			Banda 1/3 oit (Hz)	L _{Aeq,t} (dB(A))
Dia 1	Dia 1	200	40,2	200	38,3		
		250	48,2	250	40,2		
		315	42,6	315	40,6		
Dia 2	Dia 2	200	41,2	200	38,8		
		250	49,2	250	40,7		
		315	43,6	315	41,1		

5. Tratamento de resultados

a) Critério de incomodidade

	Ruído ambiente		Ruído residual
	Período da manhã	Período da tarde	
L _{Aeq,T} dia 1 (aplicando equação 6)	60,8	60,7	58,8
L _{Aeq,T} dia 2 (aplicando equação 6)	60,8	60,3	58,5
L _{Aeq,T} médio dia 1 e 2 (aplicando equação 6 às linhas anteriores)	60,8	60,5	58,7
L _{Ar} (aplicando equação 9, com K ₂ =3 no período da tarde)	62,4		

b) Valor limite de exposição

	Período diurno	Período entardecer	Período noturno
L _{Aeq,T} (DW)	60,0 ¹⁾	55,3 ²⁾	50 ³⁾
C _{met} ⁴⁾	0,49	0,23	0
L _{Aeq,LT} (L _d /L _e /L _n) (aplicando equação 3)	59,5	55,1	50
L _{den} (aplicando equação 2)	59,7		

¹⁾ Por aplicação da equação 9 aos valores da 3ª linha da tabela anterior.

²⁾ Por aplicação da equação 6 aos valores a cinzento do Tabela 2.

³⁾ Valor retirado do mapa de ruído municipal.

⁴⁾ Por aplicação da equação 5, adotando os valores de C₀ por defeito indicados no item 3.2.2 deste guia, e h_s=6m, h_r=4m e r=150m.

6. Conclusões

a) Critério de incomodidade

Para aplicação do critério de incomodidade verifica-se que a atividade funciona durante 8h/13h=62% do período de referência, logo, $D=1$. A atividade deve, então, cumprir a seguinte condição:

$$L_{Ar} - L_{Aeq,T}(RR) \leq 5+1 \text{ dB(A)}.$$

No caso concreto, obteve-se $L_{Ar} - L_{Aeq,T}(RR) = 62,4 - 58,7 = 3,7 \approx 4\text{dB(A)}$, pelo que atividade cumpre a alínea b) do n.º 3 do artigo 13.º do RGR.

b) Valor limite de exposição

O ponto de avaliação encontra-se localizado num zona não classificada pelo que o valor limite aplicável em termos de L_{den} é de 63dB(A). Tendo-se obtido $L_{den}=60\text{dB(A)}$, conclui-se que o exercício da indústria não ultrapassa este valor limite.

Exemplo 5 – Avaliação da influência sonora de um parque eólico

Um parque eólico foi objeto de uma reclamação por parte do recetor R1 que refere sentir incómodo, especialmente no período noturno no exterior da sua residência, sobretudo em condições climáticas de vento fraco ou mesmo na ausência de ventos à superfície. O parque eólico é composto por 5 aerogeradores dispostos segundo o esquema da figura 1, e que distam entre 500 e 650 m do recetor R1 (residência do reclamante). Neste exemplo ilustram-se as seguintes alíneas:

1. Validação dos dados das medições de $L_{Aeq,t}$;
2. Efeito da estabilidade atmosférica nos níveis sonoros medidos no recetor;
3. Avaliação do critério de incomodidade;

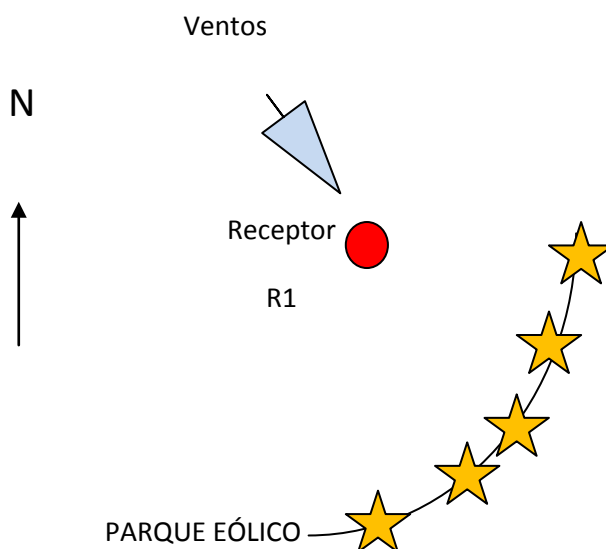


Figura 1. Localização do parque eólico e do recetor R1.

1. Funcionamento do parque eólico

O parque eólico é constituído por cinco aerogeradores de 2 MW de potência cada, e está localizado numa colina a 300 m acima do nível médio do mar, junto ao litoral. O nível médio da potência sonora de cada turbina é de 103 dB(A) para uma intensidade do vento de 6 m/s a 10 metros de altura para uma atmosfera neutra. A velocidade do vento para arranque dos aerogeradores (*cut-in*) é de 3 m/s, e a velocidade máxima de vento permitida (*cut-out* ou *cut-off*) é de 24 m/s (dados do fabricante).

A avaliação a ter em conta no funcionamento dos aerogeradores assenta no conhecimento da distribuição estatística dos ventos à altura onde se encontra as pás dos aerogeradores, para se compreender o seu funcionamento e o ruído gerado.

Na ausência destes elementos, é possível estimá-los a partir do registo de intensidades de vento à superfície, fazendo uso da relação das intensidades de vento versus altura de acordo com a expressão descrita por Van den Berg (2006)

$$v_2 = v_1 \times (h_2/h_1)^m$$

em que o expoente m , representa as condições da estabilidade da atmosfera, v a intensidade do vento a diferentes alturas e h_i , as respetivas alturas. Os valores de m (ver tabela 3) variam consoante a classe de estabilidade atmosférica (classes de Pasquill).

Tabela 3. Classes de estabilidade e valores do expoente m

Classes de Pasquill	Classificação	Expoente m
A	Muito instável	0,09
B	Moderadamente instável	0,20
C	Neutro	0,22
D	Ligeiramente estável	0,28
E	Moderadamente estável	0,37
F	Estável	0,41

2. Condições meteorológicas

Segundo o ponto 7.1 da NP ISO 1996-2, as condições meteorológicas são negligenciáveis na propagação sonora quando se verifica a condição, $(h_s+h_r)/r \geq 0,1$ para um solo poroso. Para o exemplo, tendo em conta $h_s=80$ m, $h_r=1,5$ m, e para as distâncias r entre 500-650 m, a condição da norma é satisfeita já que os valores variam entre 0,1 a 0,2.

Contudo, atendendo à natureza da reclamação para o período noturno, convida a uma análise técnica mais cuidada da influência das condições meteorológicas, tendo em conta que apesar de presença de ventos fracos ou da ausência de ventos à superfície, o funcionamento dos aerogeradores mantém-se, dado que é a presença dos ventos ao nível da altura das pás dos aerogeradores a 80 metros o fator determinante, e consequentemente, os seus efeitos em termos de emissão de ruído e da sua perceção ao nível do recetor.

Este exemplo, tem por base uma campanha de medições realizada durante o período verão, nos meses de julho e de agosto, tendo sido utilizada uma torre meteorológica de 1,5 m de altura com registos de dados em séries de 10 minutos, referentes aos parâmetros da temperatura, humidade relativa do ar, direção e intensidade do vento, e radiação solar total. A torre foi colocada a uma distância de cerca de 20 metros do recetor.

O regime de ventos apurado durante o período da campanha e ao longo de um ano (no âmbito de um estudo meteorológico mais alargado) está representado na figura 2. Na região, os ventos predominantes distribuem-se entre os quadrantes Norte e de Noroeste.

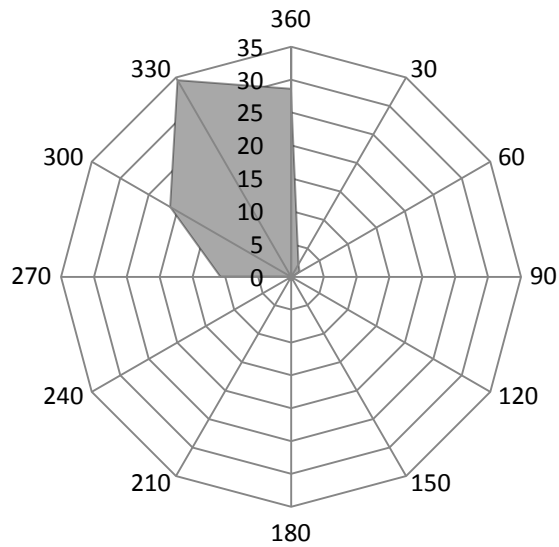


Figura 2. Frequência do rumo dos ventos nos meses de julho e agosto e ao longo do ano no recetor R1 (rumo 270°: 11% do tempo; rumo 300°: 21% do tempo; rumo 330°: 35% do tempo e rumo 360°: 29% do tempo).

As classes de estabilidade atmosférica (classes de Pasquill) ao longo do ano para os três períodos do dia, na região onde se encontra localizado o parque eólico, estão representadas na figura 3. A análise da distribuição evidencia que no período noturno, predominam as classes de estabilidade atmosféricas E e F.

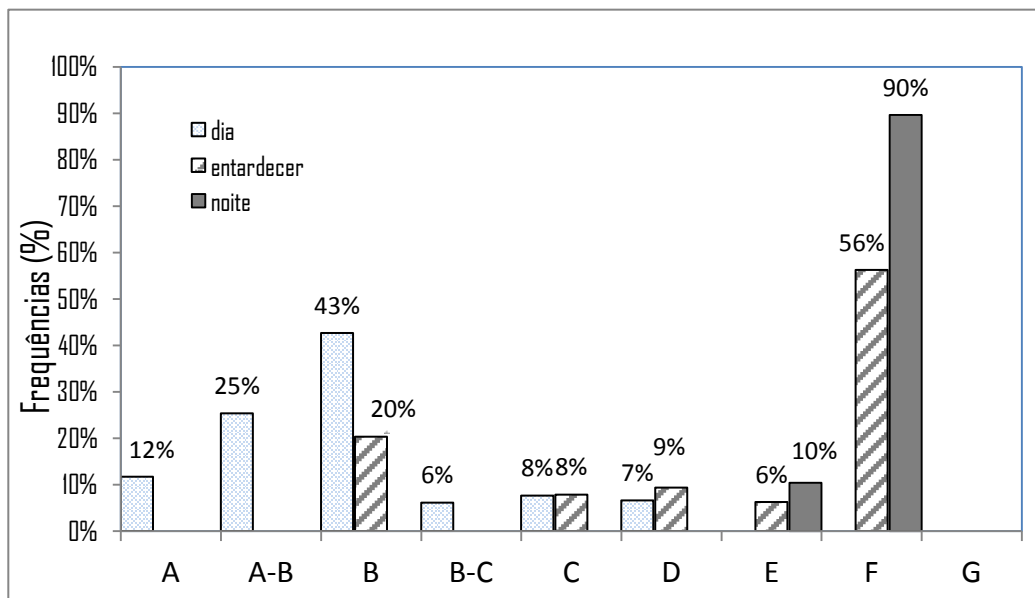


Figura 3. Ocorrência das classes de estabilidade na região para os três períodos de referência ao longo do ano (legenda das classes constante da tabela 3).

3. Procedimento de medição

a) Local de medição /localização do microfone

O ponto recetor R1 situa-se, como já referido, entre 500 e 650 m dos aerogeradores. O solo envolvente é considerado poroso.

Foi utilizado um sonómetro analisador e integrador que satisfaz as características especificadas na NP ISO 1996-1, de classe de exatidão 1, e com um microfone de ½ polegada, pré polarizado, com um protetor do vento (*windscreen*) de 90 mm de diâmetro, assente num tripé de 1,5 m, e afastado 3,5 m da fachada mais exposta ao ruído do parque eólico.

b) Intervalos de tempo de medição

O sonómetro foi programado para a aquisição de valores $L_{Aeq,t}$ em séries de 10 minutos, na gama de medição de 21 a 101 dB(A), na banda espectral em 1/3 de oitava de 6 Hz a 20 kHz, em malha de ponderação A e L, e em simultâneo com registo áudio sincronizado com os níveis de pressão sonora. As limitações do microfone e do analisador não permitem medir níveis inferiores a 21 dB(A). A avaliação decorreu durante os meses de julho e agosto, com medições e registos em contínuo.

Para o processamento, tratamento dos dados acústicos, e dos registos áudio, foi utilizado um programa de software dedicado.

4. Resultados

4.1 Validação dos dados

Um dos problemas associados às medições de ruído ambiente gerado pelos parques eólicos, é o ruído do vento induzido no microfone. Para além do ruído dos aerogeradores devido à presença do vento, também o ruído residual aumenta quando o vento aumenta de intensidade, devido aos obstáculos, à folhagem, etc. Nestas condições, o que se está a medir são várias componentes de ruído que mascaram o ruído dos aerogeradores, sendo fundamental utilizarem-se procedimentos que minimizem as interferências, sob pena dos dados serem inválidos.

No caso particular do ruído ambiente provocado pelos aerogeradores, a questão torna-se mais sensível quando da avaliação do cumprimento do critério de incomodidade no âmbito do RGR, não só para a determinação do ruído ambiente mas também para a determinação do ruído residual, pois dependem das condições atmosféricas, nomeadamente, do vento, da temperatura e humidade do ar e da estabilidade atmosférica.

Neste exemplo, utiliza-se uma metodologia para a eliminação da interferência do vento no microfone, sabendo-se que outras opções técnicas podem ser adotadas.

Na maioria das situações, os protetor de vento frequentemente utilizados nos microfones de exterior (com 90 mm de diâmetro) ajudam a reduzir o efeito do vento,

mas para ventos moderados da ordem de 4 a 5 m/s podem não ser eficazes, sendo por isso necessário avaliar e validar os dados das medições.

Na figura 4, é feita a análise desses dados, $L_{Aeq,t}$ versus a intensidade do vento à altura de 1,5 m no recetor R1.

Da análise dos dados, verifica-se que, para os ventos inferiores a 2,5 m/s, os valores dos $L_{Aeq,t}$ distribuem-se aleatoriamente mas confinados a um patamar entre 30 a 50 dB, enquanto para os ventos superiores a 2,5 m/s, os valores dos $L_{Aeq,t}$ aumentam proporcionalmente com a intensidade do vento no intervalo estudado. Embora este aumento se deva em parte ao aumento do ruído provocado pelos aerogeradores e ao ruído residual (por exemplo, vento na folhagem), é essencialmente o ruído do vento induzido no microfone, que se sobrepõe ao ruído ambiente, conforme é evidenciado testemunhalmente pelo ouvido humano e corroborado com as gravações dos registos áudio. Quando o ruído dominante é pois devido ao vento, torna-se inviável a avaliação do ruído provocado pelos aerogeradores no recetor.

Para este exemplo, os níveis sonoros considerados isentos de contaminação do vento, são os registados nas condições de intensidade de vento $v_{@1,5m} \leq 2,5$ m/s.

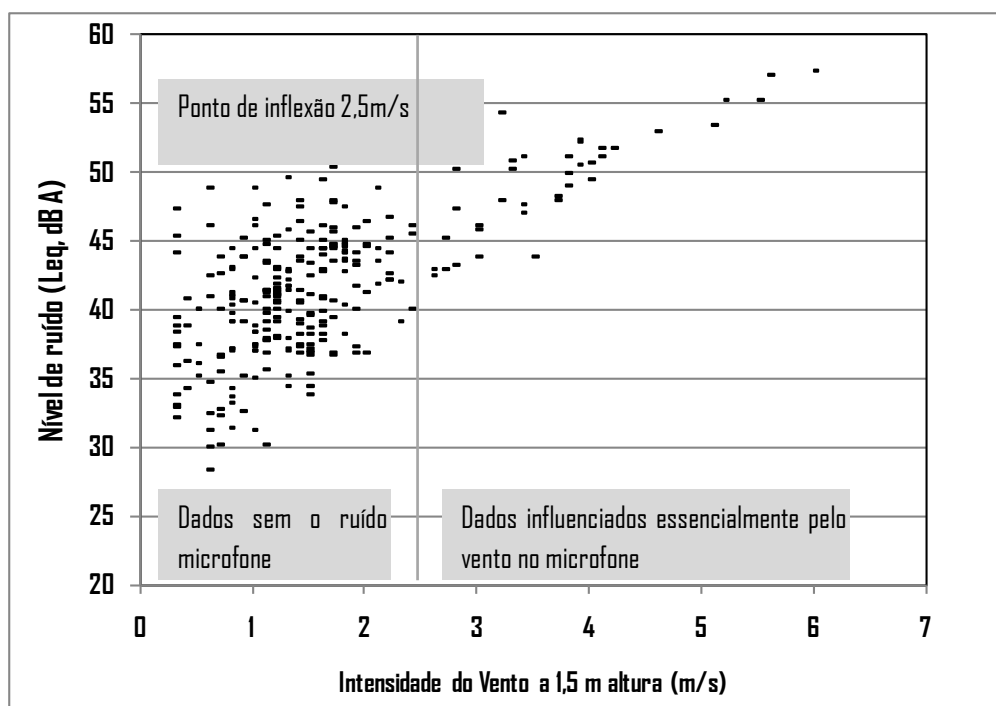


Figura 4. Níveis de $L_{Aeq,t}$ medidos à altura acima do solo de 1,5 m no recetor R1, em função da intensidade do vento, $v_{@1,5m}$, durante todo o estudo.

Efeitos da estabilidade atmosférica nos níveis sonoros no recetor

Para um melhor entendimento do que se passa entre a intensidade dos ventos à superfície e à altura das pás dos aerogeradores a 80 metros, foram convertidos os dados obtidos a 1,5 m para 80 m, utilizando a fórmula descrita por Van den Berg (2006).

Como já foi dito anteriormente, os valores de m (ver tabela 1) variam consoante a classe de estabilidade atmosférica (classes de Pasquill), e no exemplo apresentado, considerou-se para m , o valor de 0,22, atmosfera neutra, cujos resultados são apresentados na figura 5. A escolha desta classe de estabilidade para o exemplo deve-se ao facto da norma IEC 61400-11 não contemplar outras condições de estabilidade atmosféricas que ocorrem ao longo do dia, em especial no período noturno.

Note-se que, nestas condições de atmosfera neutra, os níveis sonoros considerados isentos de contaminação do vento a 1,5 m ocorrem, como referido, para $v_{@1,5m} \leq 2,5$ m/s, no entanto o que se passa à altura de 80m corresponde a ventos $v_{@80m} \leq 6$ m/s.

Verifica-se que os ventos a 80 m variaram entre 1 a 14 m/s, com períodos de maior intensidade no entardecer do dia, resultado do efeito da *Nortada* que se faz sentir numa região costeira ocidental, em especial no verão. O período do entardecer do dia para regiões junto à costa é pois crítico quanto à prevelância de regime de intensidade de ventos moderados a fortes.

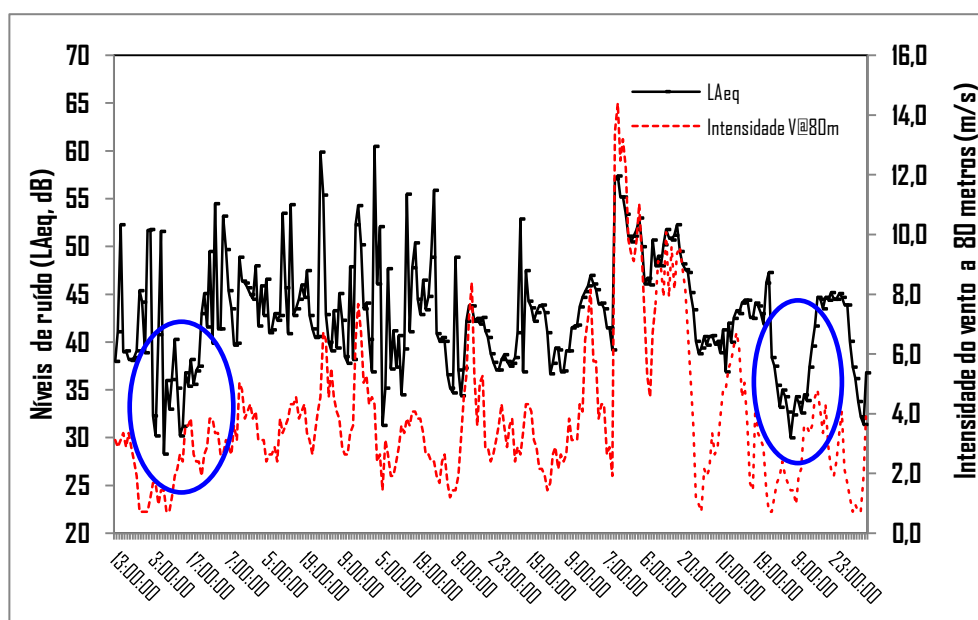


Figura 5. Níveis de $L_{Aeq,t}$ medidos no recetor R1 a 1,5 m do solo, em função da intensidade do vento, $v_{@80m}$, para uma atmosfera neutra.

Verifica-se ainda que durante um breve período do início da manhã para $v_{@80m} < 2$ m/s (círculo a azul), os valores de $L_{Aeq,t}$ situam-se em níveis inferiores a 30 dB(A), aproximando-se dos valores do ruído de fundo.

Atente-se que a relação $v_{80m}/v_{1,5m}$ para m de 0,22, é de 2,4, enquanto para uma atmosfera estável com $m=0,41$ (que ocorre em praticamente em 100% dos casos durante o período noturno – período a que se refere a reclamação), a mesma relação seria cinco vezes superior para o regime de ventos a diferentes altitudes.

Avaliação do critério de incomodidade no exterior

Na figura 6 estão representados os níveis de $L_{Aeq,t}$ medidos no recetor R1 isentos do ruído do vento (<2,5 m/s), para o período noturno em função da intensidade do ventos a 80 m, para uma atmosfera estável. A linha azul, corresponde ao valor do ruído residual 32 dB(A), medido no recetor R1 para ventos < 2,5 m/s.

Da análise dos resultados verifica-se quando a intensidade do vento é inferior ao valor do *cut-in* (quando é suposto as turbinas estarem inoperativas), 60% dos valores dos $L_{Aeq,t}$ medidos no recetor R1 são superiores a 40 dB(A), enquanto os restantes 40% valores situam-se entre 30 a 40 dB(A). Nos respetivos registos áudios, confirma-se que para valores de $L_{Aeq,t}$ a partir de 40 dB(A), o ruído proeminente é dos aerogeradores.

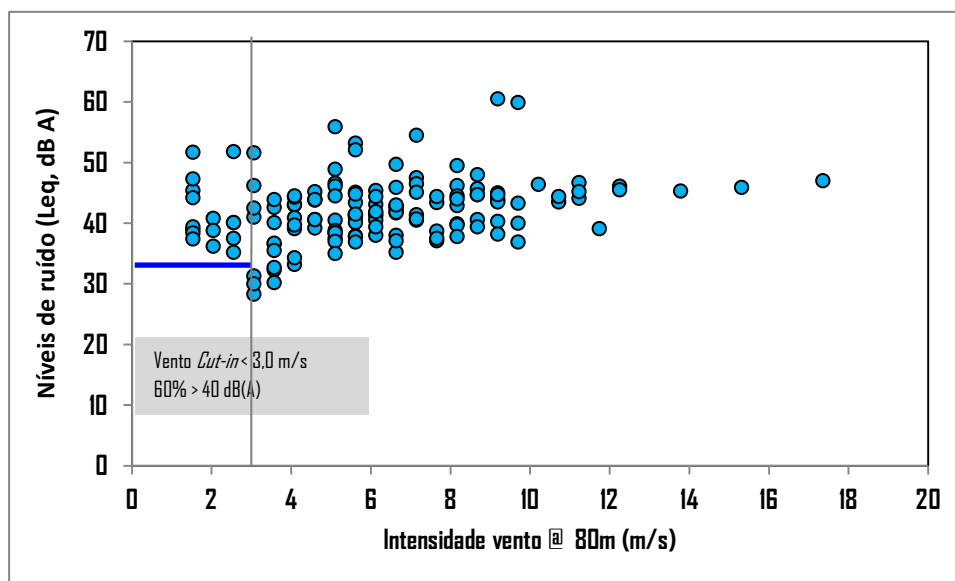


Figura 6. Valores de $L_{Aeq,t}$ isentos do ruído do vento ($v_{@1,5m} < 2,5 m/s$) medidos no recetor R1, no período noturno *versus* intensidade do vento estimada a 80 m, para uma atmosfera estável.

Tabela 4. Valores $L_{Aeq,T}$ medidos no recetor R1

Período noturno	
$v_{@1,5m} < 2,5 m/s$	Valores medidos dB(A)
$L_{Aeq,T} RA$	46,4
$L_{Aeq,T} RR$	32

5. Conclusões

Para a verificação do critério de incomodidade de acordo com o RGR (alínea b) do nº1 do artigo 13º) a avaliação cingiu-se apenas ao período noturno em face do teor da reclamação.

Tabela 5. Verificação do cumprimento do critério de incomodidade para o período noturno correspondente ao período de um mês

$L_{Aeq,T} RA - L_{Aeq,T} RR$ dB(A)	Fator D dB(A)	$L_{Aeq,T} RA - L_{Aeq,T} RR \leq 3 + 0$ dB(A)
46,4-32,0=14,4	0	14,4 >> 3

O parque eólico não cumpre o RGR para o período noturno, uma vez que excede o valor máximo permitido em 11 dB(A).

A avaliação das classes de estabilidade atmosférica que ocorrem ao longo do dia, sobretudo no período noturno, é essencial para a avaliação do ruído à altura do recetor.

A estabilidade atmosférica proporciona um efeito amplificador do ruído dos aerogeradores no recetor.

A.2.2 Infraestruturas de transporte

Exemplo 6 – Ruído de tráfego ferroviário - medições de ruído ambiente para determinação de L_{den} com base no indicador nível de exposição sonora L_{AE} (SEL) relativo às passagens de comboios

1. Funcionamento da fonte

Dimensão da amostra - número mínimo de passagens de comboios

No troço ferroviário em causa circulam comboios suburbanos constituídos basicamente por uma categoria de unidade elétrica, cujas composições variam de 6 a 7 unidades simples, com dimensões de 120 m e 140 m de comprimento, respetivamente. Neste troço circula também uma categoria de locomotiva a diesel, para traccionar vagões de mercadorias de comprimento que varia entre 200 a 220 m.

Para determinação do nível de exposição sonora, L_{AE} , médio de cada categoria de comboios foram medidos os níveis de exposição sonora de 30 passagens de comboios da categoria 1 e de 10 passagens de comboios da categoria 2, de acordo com os itens 6.3.1 e 8.4.3 da NP ISO 1996-2.

Na tabela 6 é indicado o número de comboios que circulam no troço ferroviário nos três períodos do dia ao longo do ano.

Tabela 6. Número médio diário de comboios que circulam no troço ferroviário nos três períodos de referência, durante o ano

	Sub Urbanos (categoria 1)		Mercadorias (categoria 2)	
	Período de semana	FDS e Feriados	Período de semana	FDS e Feriados
Diurno	200	100	10	2
Entardecer	30	15	5	0
Noturno	20	10	1	0
n total	250	125	16	2

2. Condições meteorológicas

A condição $(h_s+h_r)/r \geq 0,1$ é satisfeita $((2,5+1,5)/20=0,20)$, o que, segundo a NP ISO 1996-2, determina que as condições meteorológicas não afetam significativamente os resultados das medições acústicas, pelo que não lhes serão aplicadas correções.

3. Procedimento de medição

O recetor sensível (edifício habitacional de 1 piso) está localizado a 20 m de distância do troço ferroviário, distância essa determinada com base no plano perpendicular à linha central da ferrovia e que passa pelo microfone. O terreno envolvente é classificado como poroso. A altura do microfone é de $h_r = 1,5\text{m}$ e da fonte de $h_s = 2,5\text{m}$ (altura média calculada desde a roda/carril até à altura do pantógrafo/catenária).

O programa consistiu em medições dos níveis de exposição sonora L_{AE} (SEL, na terminologia inglesa) registados durante as passagens dos comboios; em cada passagem o registo de medição foi efetuado até ao decaimento de 10 dB em relação ao nível máximo registado. As medições foram colhidas ao longo do dia 23 maio.

Foram ainda realizadas medições fora das passagens de comboios para caracterização do ruído residual, em dias úteis e de fim de semana/feriado, por período de referência.

4. Resultados

Na tabela 7 são indicados os valores de L_{AE} obtidos durante a passagem dos comboios, a velocidade de passagem das composições, o comprimento e a hora da passagem.

Tabela 7. Dados de L_{AE} obtidos durante a passagem dos comboios

Hora de passagem h	Linha		Comprimento (m)	Velocidade Km/h	L_{AE} medido (dB)
	sentido asc.	sentido desc.			
0:17		√	120	70	97
0:23		√	220	30	102
0:47	√		120	72	98
1:17	√		120	75	96
1:20		√	220	32	102
1:47		√	120	80	101
7:34	√		120	74	96
7:34		√	120	79	101
7:45	√	√	120	77	94
7:49	√		120	70	101
8:04	√		200	35	99
8:04		√	140	82	106
8:15		√	140	73	99
8:19	√		120	69	98
8:30	√		140	68	97,8
8:34		√	120	70	99
8:45	√		140	85	103
8:49		√	220	40	103
9:00	√		140	71	100
9:04	√		120	74	99
9:15		√	220	60	106
9:19	√		120	73	98
9:30		√	140	70	98
9:34	√		200	36	100
9:45	√		220	36	103
10:07	√		140	68	95,8
10:27		√	140	78	100
10:47	√		140	73	98
11:07	√		140	74	99
11:27		√	140	79	98
11:47	√		140	81	102
20:04		√	140	66	94
20:12		√	120	77	95,8
20:19	√		120	79	99,1
20:34	√		200	55	104
20:49		√	120	71	98
23:17		√	120	69	96,7
23:23		√	200	40	102
23:47		√	200	35	98,7
23:53	√		140	72	98,3

Relativamente ao ruído residual foram obtidos valores não superiores a 55 dB(A).

5. Tratamento de resultados

Na tabela 8 são apresentadas as expressões de cálculo utilizadas com vista à determinação do L_{den} .

Na tabela 9 estão indicados os valores intermédios calculados de $L_{Aeq,T}$ em função dos períodos de referência e das categorias de comboios que circulam neste troço, bem como o valor final do indicador L_{den} .

Tabela 8. Expressões usadas para o cálculo de diversos parâmetros intermédios com vista à determinação do L_{den} .

Método de cálculo	Comboios Sub Urbanos (categoria 1)	Comboios de Mercadorias (categoria 2)
Amostra (número mínimo)	30	10
Incerteza da amostra σ	1 dB	1,2 dB
L_{AE} médio representativo de cada categoria de comboios c_i (2 resultados)	$\overline{L_{AE}}(c_j) = 10 \times \lg \left[\frac{1}{n} \sum_i^n 10^{L_{AEi}/10} \right]$ em que n é o nº de acontecimentos discretos medidos, por categoria (no exemplo, n=30 para c_1 e n=10 para c_2)	
$L_{Aeq,T}$ diário para cada categoria c_i de comboios, por período de referência T e para dias úteis e fds/feriado (12 resultados)	$L_{Aeq,T}(c_j) = \overline{L_{AE}}(c_j) + 10 \times \lg n - 10 \times \lg \left(\frac{T}{t_0} \right)$ (eq. 10) em que T é a duração em segundos do período de referência, $t_0=1s$ e n se retira da tabela 6, para cada categoria e por dias úteis/fds-feriado	
$L_{Aeq,T}$ diário para as 2 categorias de comboios, por período de referência T e para dias úteis e fds/feriado (6 resultados)	$L_{Aeq,T}(c_1, c_2) = 10 \times \lg \left(10^{L_{Aeq,T}(c_1)/10} + 10^{L_{Aeq,T}(c_2)/10} \right)$ (eq. 6)	
$L_d/L_e/L_n$ (3 resultados)	$L_{Aeq,LT} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{365} \left(245 \times 10^{L_{Aeq,T}(c_1, c_2)_{du}/10} + 120 \times 10^{L_{Aeq,T}(c_1, c_2)_{fds}/10} \right) \right]$ (eq. 7)	
L_{den}	$L_{den} = 10 \times \lg \left[\frac{1}{24} \left(3 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right]$ (eq.2)	

Tabela 9. Valores calculados para os vários indicadores (dB(A))

Sub Urbano	Diurno	Entardecer	Noturno
$\overline{L_{AE}}(c_1)$	99,4		
$L_{Aeq,T}$ nos dias úteis	75,7	73,8	67,8
$L_{Aeq,T}$ nos FDS e Feriados	72,7	70,8	64,8
Mercadorias	Diurno	Entardecer	Noturno
$\overline{L_{AE}}(c_2)$	102		
$L_{Aeq,T}$ nos dias úteis	65,8	69,2	57,9
$L_{Aeq,T}$ nos FDS e Feriados	58,8	0	0
Sub Urbano + Mercadorias	Diurno	Entardecer	Noturno
$L_{Aeq,T}$ nos dias úteis	76,1	75,1	68,2
$L_{Aeq,T}$ nos FDS e Feriados	72,9	70,8	64,8
Sub Urbano + Mercadorias	Diurno	Entardecer	Noturno
$L_{Aeq,LT}$ anual	75,3	74,1	67,4
L_{den}	77,1		

6. Conclusões

O valor de L_{den} acima calculado representa, face à ordem de grandeza do ruído residual, o valor de L_{den} do ruído ambiente, pelo que se conclui que a linha ferroviária não cumpre o critério de exposição máxima no ponto recetor avaliado, independentemente da classificação de zonas onde se insere esse ponto.

Exemplo 7 – Ruído de tráfego rodoviário - determinação de $L_{Aeq,T}$ por técnica de amostragem: comparação de medições em contínuo *versus* medições de curta duração

Pretende-se com este exemplo apresentar as diferenças que podem ser obtidas quando se recorre, durante um período de referência, a registos sonoros em contínuo ou, em alternativa, a medições de curta duração, de ruído de tráfego rodoviário, em especial quando não se dispõe de informação de tráfego.

Para este efeito, foram utilizados registos sonoros obtidos em contínuo durante dois períodos noturnos completos (dias 1 e 2), junto a um edifício habitacional com 4 pisos, inserido numa zona peri-urbana, e localizado a cerca de 40 metros da rodovia em avaliação. A carta de classificação de zonas disponibilizada pela Câmara Municipal refere a zona como mista nos termos do RGR.

Em contraponto a estes registos, são apresentados duas hipóteses plausíveis, à partida, de obtenção de amostras (amostras A e B) nos *mesmos* dias 1 e 2, e respetivos resultados de medições com durações aproximadas de 20 minutos.

1. Funcionamento da fonte

Para a rodovia em causa não existem dados de contagem de tráfego; de acordo com informação da Câmara Municipal e observação prévia no local, verifica-se um decréscimo significativo a partir sensivelmente da 1h00 e até por volta das 5h30, não havendo marcada sazonalidade no fluxo de tráfego.

2. Condições meteorológicas

As condições meteorológicas não foram consideradas relevantes para a avaliação, dado ser satisfeita a condição $(h_s+h_r)/r \geq 0,1 \Leftrightarrow (0,7+4)/40=0,12$.

3. Procedimento de medição

a) Intervalos de tempo de medição

O registo em contínuo reporta-se a dois períodos noturnos completos (dias 1 e 2); em simultâneo, obtiveram-se registos áudio para posterior tratamento e análise dos dados.

Na 1ª amostra (amostra A), as medições de curta duração (cerca de 20 minutos) tiveram início, nos dias 1 e 2, às 0h00, 1h15 e 6h00.

Na 2ª amostra (amostra B), as medições de curta duração (cerca de 20 minutos) tiveram início, nos dias 1 e 2, às 4h00, 5h00 e 6h00.

b) Localização do microfone

As medições foram efetuadas no passeio, com o microfone afastado 3,5 m da fachada mais exposta ao ruído de tráfego e a 4 m acima do solo.

c) Medições

O ruído determinante do local é devido à rodovia próxima em avaliação.

4. Resultados e tratamento de resultados

A análise do registo das medições em contínuo incluiu a audição de todas as situações em que se verificaram os níveis sonoros mais elevados, tendo no caso em concreto, sido validados como fazendo parte da fonte sonora em avaliação.

Figura 7. Registos em contínuo de ruído de tráfego rodoviário, em período noturno

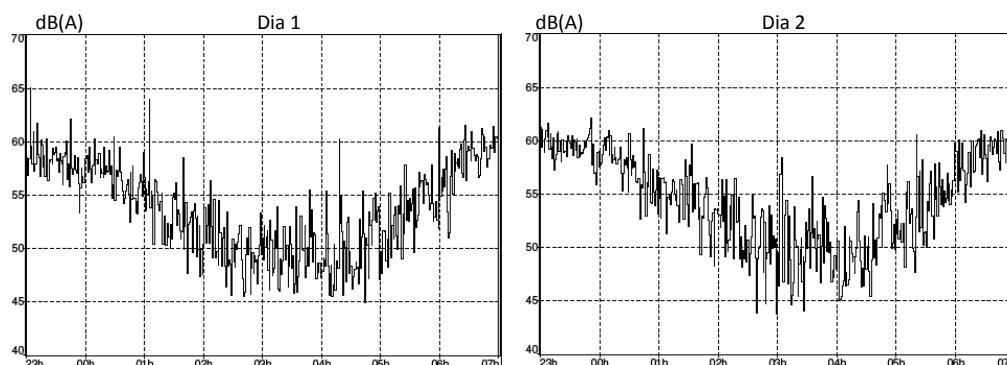


Tabela 10. Resultados em $L_{Aeq,t}$ (dB(A))

	Registo em contínuo (23h00-7h00)	Amostra A	Hora de início	Amostra B	Hora de início
Dia 1	55,5	58,1	0h00	51,3	4h00
		56,0	1h15	51,6	5h00
		57,3	6h00	57,3	6h00
$L_{Aeq,T}$ médio (aplicando equação 6)	--	57,2		54,3	
Dia 2	56,2	59,1	0h00	48,4	4h00
		55,2	1h15	52,4	5h00
		57,8	6h00	57,8	6h00
$L_{Aeq,T}$ médio (aplicando equação 6)	--	57,7		54,5	
$L_{Aeq,T}$ médio dia 1 e 2 (aplicando equação 6)	55,9	57,4		54,4	

Tabela 11. Resultados da contagem de tráfego (20 minutos); valores totais e percentagem de pesados

	Amostra A			Amostra B		
	VL+VP	% VP	Hora de início	VL+VP	% VP	Hora de início
Dia 1	299	4,2	0h00	38	17,4	4h00
	84	2,0	1h15	82	19,9	5h00
	356	14,4	6h00	356	14,4	6h00
Dia 2	275	3,9	0h00	28	21,2	4h00
	84	5,5	1h15	68	24,6	5h00
	345	12,0	6h00	345	12,0	6h00

Na Amostra B, verifica-se que a diferença das medições acústicas recolhidas às 6h00 e nas restantes horas é superior a 5dB(A) justificada pelo aumento significativo de tráfego (correspondente a um patamar claramente distinto de circulação rodoviária), não tendo, portanto, determinado a necessidade de recolhas adicionais.

5. Conclusões

Da análise da tabela 10, verifica-se que, apesar das amostras A e B terem sido concebidas de forma a tentar abranger as tendências de flutuação de tráfego ao longo da noite, os resultados assim obtidos diferem significativamente entre eles (3dB(A)), ao ponto de conduzirem a conclusões distintas sobre o cumprimento do RGR pela rodovia em causa, em termos do indicador L_n . Assim, neste exemplo, apenas o registo das medições em contínuo permite concluir, de forma inequívoca, sobre o incumprimento do RGR.

A.2.3 Atividade ruidosa temporária (obra)

Exemplo 8 – Avaliação do cumprimento do requisito acústico aplicável a atividade ruidosa temporária (obra)

Obra exterior de construção civil na proximidade de habitações, com duração de 12 semanas. Foi requerida pelo promotor autorização excepcional para prolongamento do horário da obra nos dias úteis para além das 20h00, da 2ª à 6ª semanas, até às 23h00. A Câmara Municipal respetiva emitiu Licença Especial de Ruído (LER), condicionada, de acordo com o RGR, ao cumprimento do valor limite $L_{Aeq,T}$ (diário) do ruído ambiente exterior de 60dB(A), reportado a um dia para o período entardecer. O cumprimento do requisito acústico estabelecido na LER foi avaliado pela Câmara.

1. Funcionamento da fonte

De acordo com o cronograma das atividades a realizar no período entardecer, apresentado na justificação do pedido da LER, está prevista a realização de trabalhos exteriores com utilização de equipamentos mecânicos “ruidosos”, da 2ª à 4ª semana, no local da obra mais próximo dos edifícios de habitação.

2. Condições meteorológicas

As condições meteorológicas não foram consideradas relevantes para a avaliação, dado ser satisfeita a condição $(h_s+h_r) / r \geq 0,1$.

3. Procedimento de medição

a) Intervalos de tempo de medição

Foi escolhido, para a realização de medições, um dos dias da 2ª semana da obra, dado que se prevê, face ao cronograma da obra, ser uma das semanas mais críticas em termos da influência sonora no ponto de avaliação.

Foram efetuadas 3 medições, cada uma com uma duração aproximada de 20 minutos; e iniciadas às 20h30, 21h15 e 22h.

b) Localização do microfone

As medições foram efetuadas num ponto exterior, junto ao edifício de habitação mais próximo do local da obra, com o microfone afastado 3,5 m da fachada e a 1,5 m acima do solo.

c) Medições

No dia das medições encontravam-se em funcionamento simultâneo diversos equipamentos mecânicos utilizados na obra com emissões mais elevadas de ruído e localizados na zona da obra com menor distanciamento ao ponto de medição.

No local, para além da obra, que se revela ser a fonte dominante, é perceptível ruído de tráfego rodoviário longínquo.

4. Resultados e tratamento de resultados

Medições	$L_{Aeq,t}$, em dB(A)
1	57,0
2	60,0
3	58,8
$L_{Aeq,(20-23h)}$ (aplicando equação 6)	59,2

5. Conclusões

O valor de $L_{Aeq,T}$ determinado para um dia da obra (tido como dia crítico) é inferior ao valor limite aplicável (60dB(A)), tendo, portanto, sido verificado o cumprimento do requisito acústico estabelecido na LER.

ANEXO B – Determinação do raio de curvatura R pela norma NP ISO 1996 e pelo documento *IMAGINE*

Este exemplo prático pretende ilustrar a abordagem de duas metodologias para o cálculo do raio de curvatura R, pela norma NP ISO 1996 e pelo documento *IMAGINE*.

Condições meteorológicas e identificação das condições de propagação

Foram registadas a temperatura (T) e a intensidade do vento (VV), a 0,5 m e a 10 m de altura, bem como a direção do vento (DV) e a humidade relativa do ar (HR) a 10 m acima do solo, ainda a nebulosidade ao longo das 24 horas do dia 20 junho, conforme a tabela B.1 e as figuras B.1 e B.2.

Tabela B.1. Registos meteorológicos a 0,5 m e a 10 m para o dia 20 junho

Hora	T @0,5 m (°C)	T @10 m (°C)	HR @10 m (%)	VV @0,5 m (m/s)	VV @10 m (m/s)	DV @10 m (graus)	Nebulosidade
01:00	16,9	18,0	73	2,0	2,6	22	0/8
02:00	16,2	18,0	68	2,1	2,6	27,5	0/8
03:00	15,6	18,0	64	1,2	2,1	42,9	0/8
04:00	14,7	18,0	64	0,6	3,1	82	0/8
05:00	14,3	18,0	64	0,6	2,6	70,6	0/8
06:00	15,1	17,0	72	1,5	4,1	63,7	0/8
07:00	16,6	17,0	77	1,2	2,6	73,9	1/8
08:00	18,7	17,0	82	1,6	1,5	59,5	1/8
09:00	21,5	19,0	73	1,3	2,6	73,3	0/8
10:00	26	21,0	68	1,1	2,1	95,1	0/8
11:00	29	24,0	53	1,5	1,5	68,1	0/8
12:00	30,3	27,0	45	1,3	2,1	231,6	0/8
13:00	29,1	28,0	42	3,3	2,6	302,7	0/8
14:00	31,6	27,0	54	3,5	4,6	292,9	6/8
15:00	31,4	28,0	51	4,1	5,1	301,8	6/8
16:00	29,9	29,0	48	4,6	5,7	305,7	1/8
17:00	28,5	28,0	51	4,5	6,7	301,5	1/8
18:00	26,6	26,0	54	3,0	6,7	321,2	4/8
19:00	24	25,0	54	1,7	6,7	136,8	4/8
20:00	22,2	24,0	57	2,2	5,1	120,2	4/8
21:00	21,3	23,0	53	3,6	5,1	123,7	4/8
22:00	21,6	22,0	50	4,1	6,7	52,3	4/8
23:00	20,6	21,0	53	2,6	6,2	65,8	0/8
00:00	19,7	20,0		1,9		282,6	

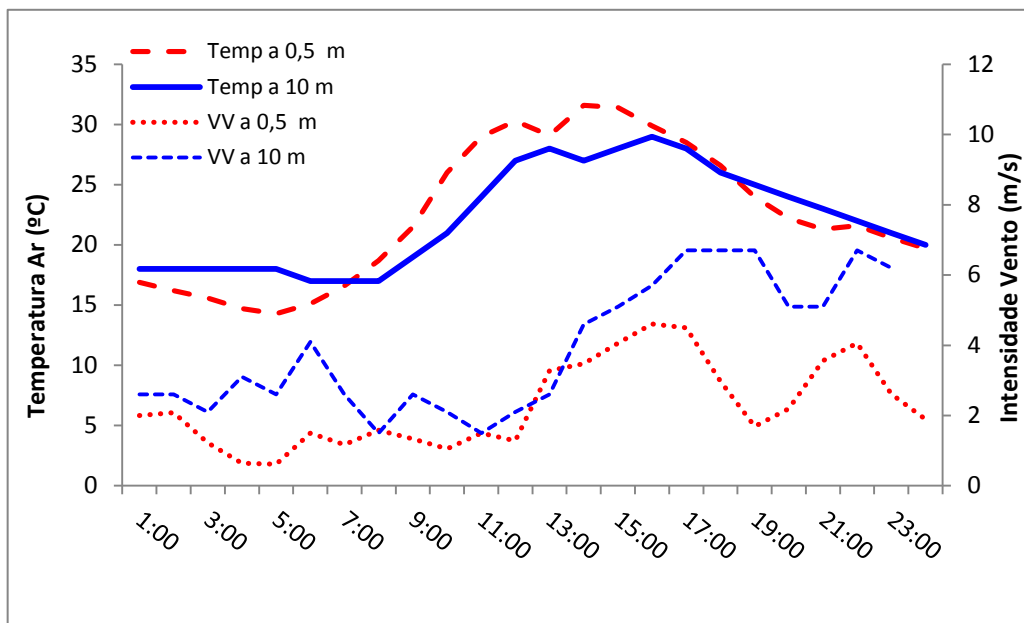


Figura B.1. Evolução da intensidade do vento e da temperatura do ar, medidos a 0,5 m e a 10 m, em 20 de junho.

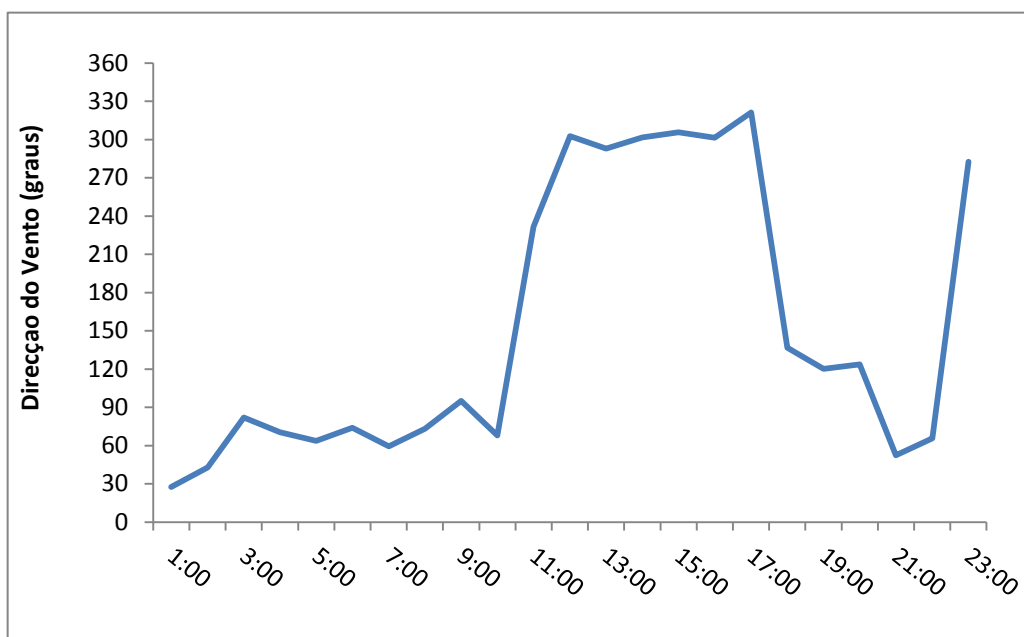


Figura B.2. Evolução da direção do vento a 10 m de altura, em 20 de junho.

Ao longo do dia, os ventos a 10 m de altura (@10) variaram de intensidade: no período diurno (entre as 7h e as 20h), o regime de intensidade variou de 1,5 a 6,7 m/s, no período do entardecer (20-23h) entre 5,1 e 6,7 m/s e no período noturno (23-7h), entre 2 e 4 m/s. Deve ser acutelado que a intensidade do vento não origine interferências à altura do microfone do sonómetro. Nestas medições tem-se também que avaliar a direção do vento, dado que esta variou ao longo dos períodos do dia, alterando-se as condições de propagação favoráveis.

Analisam-se de seguida as restantes variáveis meteorológicas que contribuem para a identificação das condições do campo sonoro.

Os ventos entre a 1h e as 11 horas sopraram entre os quadrantes de Norte e de Leste (0° a 90°), tendo evoluído entre as 12h e as 18h para os quadrantes de Noroeste (275° a 320°), e rodando no final do dia, no período do entardecer, para quadrantes de Sudeste e de Leste (52° a 140°).

Quanto às temperaturas do ar a 0,5 m e a 10 m de altura, constata-se que ocorreram inversões térmicas durante o período noturno entre a 1h e as 7 horas, no período diurno entre as 19h e as 20h, e pelo período do entardecer entre as 20h e as 23 horas. No resto do período diurno, o perfil manteve-se positivo. Desta forma, calcula-se de seguida o raio de curvatura para os diferentes perfis térmicos ocorridos, segundo duas metodologias distintas.

Metodologia 1 - Resolução do problema utilizando a metodologia da NP ISO 1996-2

Período noturno

Ocorrência de inversão térmica: 1h – 6 horas

Para efeitos de cálculo, consideram-se os valores registados às 4h como representativos deste período, tendo em conta a direção média do vento durante este período.

Nebulosidade 0/8

$$v_{@10} = 3,1 \text{ m/s} \quad v_{@0,5} = 0,6 \text{ m/s} \quad \Delta v = 2,5 \text{ m/s}$$

$$T_{10} = 18 \text{ °C} \quad T_{0,5} = 14,7 \text{ °C} \quad \Delta T = 3,3 \text{ °C}$$

Direção média do vento 82° (vento lateral)

Direção entre a fonte e o recetor (360°): $\theta = 82 - 360 = - 278^\circ$ ou 82°

Aplicando a equação (A.1) do Anexo A da NP ISO 1996-2

$$R = \frac{3,3}{0,6\Delta\tau + \Delta u \cos\theta}$$

e substituindo pelos respetivos valores, obtém-se $R = 1,4 \text{ km}$.

Este resultado evidencia que se está perante condições favoráveis de propagação do campo sonoro - as ondas sonoras são refratadas no sentido descendente, induzindo níveis de pressão sonora amplificados no recetor, embora não sejam as condições mais favoráveis, devido ao ângulo da direção do vento e da direção do alinhamento entre a fonte e o recetor, $\theta = 82^\circ$.

Período entardecer

Ocorrência de inversão térmica: 19 – 23 horas

Consideram-se os valores das 20h como representativos deste período.

Nebulosidade 4/8

$$v_{@10} = 5,1 \text{ m/s} \quad v_{@0,5} = 2,2 \text{ m/s} \quad \Delta v = 2,9 \text{ m/s}$$

$$T_{10} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{0,5} = 22,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta T = 1,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Direção média do vento 120° (vento contrário), logo $\theta = 120 - 360 = - 240^{\circ}$

Substituindo os valores na equação (A.1), obtém-se $R = -8,9 \text{ km}$.

Embora se esteja perante condições de estabilidade atmosférica devido à ocorrência de uma inversão térmica, seria de esperar um valor para R positivo; contudo o valor obtido foi negativo.

Período diurno

Não ocorreu inversão térmica. Consideram-se os registos meteorológicos das 14h como representativos deste período.

Nebulosidade 6/8

$$v_{@10} = 4,6 \text{ m/s} \quad v_{@0,5} = 3,5 \text{ m/s} \quad \Delta v = 1,1 \text{ m/s}$$

$$T_{10} = 27 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{0,5} = 31,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta T = -4,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Direção média do vento 300° (vento favorável), logo $\theta = 300 - 360 = - 60^{\circ}$

Substituindo os valores na equação (A.1), obtém-se $R = -1,5 \text{ km}$.

Sendo R negativo, o trajeto das ondas sonoras é refratado no sentido ascendente, devido às condições desfavoráveis existentes. Neste período do dia, verifica-se a ocorrência de condições de instabilidade atmosférica.

Metodologia 2 - Resolução do problema anterior utilizando a metodologia do documento *IMAGINE*

Período noturno

Para efeitos de cálculo, consideram-se os valores registados às 4h como representativos deste período.

Nebulosidade 0/8

$v_{@10} = 3,1$ m/s

Direção média do vento 82° (vento lateral), logo $\theta = 82-360 = -278^\circ$ ou 82°

D (distância entre a fonte e o recetor) = 500 m

Recorrendo às tabelas A.1 e A.2 do documento *IMAGINE* (teoria similar de Monin-Obukhov), para a classe de estabilidade S5 N 0/8-4/8 (estabilidade atmosférica), e para a intensidade do vento de 3,1 m/s, ou seja, o intervalo W3: 3-6 m/s, os valores dos parâmetros de escala dimensionais são $T^* = 0,1$, $1/L = 0,02$ ou seja $L = 50$ m, e $u_* = 0,3$ m/s.

Utilizando a expressão

$$A = 4.7 \frac{u_*}{C_{wk} L} + \left(\frac{1}{2} \frac{c_0}{T_{ref}} \right) \left(4.7 \frac{T^*}{C_{wk} L} - \frac{g}{c_p} \right) \cos(wd)$$

obtém-se $A = 0,071$ s⁻¹ e

$$B = \frac{u_*}{C_{wk}} + \left(\frac{1}{2} \frac{c_0}{T_{ref}} \right) \left(0.74 \frac{T^*}{C_{wk}} \right) \cos(wd)$$

obtém-se $B = 0,356$ m/s.

Recorrendo às expressões

$$\frac{1}{R_{cur}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}$$

$$R_A = \frac{A}{|A|} \sqrt{\left(\frac{c_0}{|A|} \right)^2 + \left(\frac{D}{2} \right)^2}$$

$$R_B = \frac{B}{|B|} \frac{1}{8} \sqrt{\frac{2\pi c_0}{|B|}} D$$

obtém-se $R_A = 4631$ m, $R_B = 3260,6$ m e $R_{Curv} \approx 1,9$ km.

Ou seja, obtém-se o mesmo sentido de curvatura e da mesma ordem de grandeza tal como o valor obtido pela metodologia da norma NP ISO 1996-2.

Conclui-se que neste período as condições de propagação sonora são relativamente favoráveis sendo de esperar acréscimos dos níveis de pressão no recetor.

Período entardecer

Ocorrência de inversão térmica: 19 – 23 horas

Consideram-se os valores das 20h como representativos deste período.

Nebulosidade 4/8

$v_{@10} = 5,1$ m/s

Direção média do vento 120° (vento lateral), logo $\theta = 120-360 = -240^\circ$

D (distância entre a fonte e o recetor) = 500 m

Dado ocorrer uma inversão térmica neste período do dia, resulta que se está perante condições de estabilidade atmosférica. Assim, recorrendo às tabelas A.1 e A.2 do documento *IMAGINE*, seleciona-se a classe de estabilidade S5 N 0/8-4/8, para uma intensidade do vento de 5,1 m/s, seleciona-se o intervalo W3: 3-6 m/s, obtêm-se os valores dos parâmetros de escala $T^* = 0,1$, $1/L = 0,02$, e $u^* = 0,3$ m/s.

Utilizando a expressão para o período noturno

$$A = 4.7 \frac{u_*}{C_{vk}L} + \left(\frac{1}{2} \frac{c_0}{T_{ref}} \right) \left(4.7 \frac{T_*}{C_{vk}L} - \frac{g}{c_p} \right) * \cos(wd)$$

e substituindo os valores, obtém-se $A=0,068$ s⁻¹, $B = 0,694$ m/s, $R_A = 4880$ m, $R_B = 3424$ m e o raio de curvatura $R_{curv} \sim 1,9$ km.

Período diurno

Nebulosidade 6/8

$v_{@10} = 4,6$ m/s

Direção média do vento 300° (vento favorável), logo $\theta = 300-360 = -60^\circ$

D (distância entre a fonte e o recetor) = 500 m

Recorrendo às tabelas A.1 e A.2 do documento *IMAGINE*, para uma classe de estabilidade S3 D 6/8-8/8 (condições neutras) e para uma intensidade do vento de 4,6

m/s, para o intervalo W3: 3-6 m/s, obtêm-se os valores dos parâmetros de escala $T^* = 0$, $1/L = 0$, e $u^* = 0,3$ m/s.

Utilizando as expressões

$$A = \frac{u_*}{C_{vk} L} + \left(\frac{1}{2} \frac{c_0}{T_{ref}} \right) \left(0.74 \frac{T_*}{C_{vk} L c_p} \right)^* \cos(wd)$$

$$B = \frac{u_*}{C_{vk}} + \left(\frac{1}{2} \frac{c_0}{T_{ref}} \right) \left(0.74 \frac{T_*}{C_{vk}} \right)^* \cos(wd)$$

$$\frac{1}{R_{curv}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}$$

$$R_A = \frac{A}{|A|} \sqrt{\left(\frac{c_0}{|A|} \right)^2 + \left(\frac{D}{2} \right)^2}$$

$$R_B = \frac{B}{|B|} \frac{1}{8} \sqrt{\frac{2\pi c_0}{|B|}} D$$

obtêm-se $A = 0 \text{ s}^{-1}$, $B = 0,75 \text{ m/s}$ e $R_{Curv} = \infty$

O valor de R infinito significa que o trajeto das ondas sonoras se aproxima de uma propagação em linha reta devido às condições de existência de uma atmosfera neutra pela abordagem da teoria de Monin-Obukhov. Em suma, não será previsível alteração significativa de acréscimos dos níveis de pressão sonora no recetor para este período do dia.

Tabela B.1. Resumo dos valores de R obtidos pelos dois documentos

Período do dia	NP ISO 1996-2	IMAGINE Teoria de Monin-Obukhov
Noturno (7 - 20h)	Atmosfera estável Direção do vento lateral $\theta = 82^\circ$ Intensidade vento 3,1 m/s R = 1,4 Km Condições favoráveis de propagação	Atmosfera estável Direção do vento lateral $\theta = 82^\circ$ Intensidade vento 3,1 m/s R = 1,9 Km Condições favoráveis de propagação
Entardecer (20 - 23h)	Atmosfera estável Direção do vento lateral $\theta = 120^\circ$ Intensidade vento 5,1 m/s R = - 8,9 Km Condições desfavoráveis de propagação	Atmosfera estável Direção do vento lateral $\theta = 120^\circ$ Intensidade vento 5,1 m/s R = 1,9 Km Condições favoráveis de propagação
Diurno (23 - 7h)	Atmosfera instável Direção do vento favorável $\theta = 300^\circ$ Intensidade vento 4,6 m/s R = -1,5 Km Condições desfavoráveis de propagação	Atmosfera neutra Direção do vento favorável $\theta = 300^\circ$ Intensidade vento 4,6 m/s R = ∞ Condições neutras de propagação

Os resultados obtidos para os períodos noturno e diurno são similares (condições de propagação favoráveis e neutras), embora a teoria de Monin-Obukhov seja de âmbito de aplicação universal, identificando adequadamente o período diurno com as condições da atmosfera neutra. Para o período do entardecer, as duas abordagens conduzem a resultados diferentes, embora o resultado apresentado pela teoria de

Monin-Obukhov seja concordante com as condições de estabilidade atmosférica identificada.



Agência Portuguesa do Ambiente
Rua da Murgueira, 9/9A. Zambujal
Ap. 7585, 2611-865 Amadora
Tel: 21 472 82 00 | Fax: 21 471 90 74
Email: geral@apambiente.pt