



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Qualidade do ar e nível sonoro numa carreira de tiro – Estudo de caso

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Carlos Miguel Barreirinhas da Silva

Orientadores

Prof. António José Barreto Tadeu

Prof^a. Julieta Maria Pires António

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Colaboração institucional:



Coimbra, Julho, 2015

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar aqui uma palavra de apreço e profundo agradecimento a todos aqueles que, de algum modo, contribuíram para a realização deste trabalho, em particular:

Aos meus orientadores, Prof^ª. Julieta António e Prof. António Tadeu, pela disponibilidade, dedicação e empenho com que orientaram este trabalho.

Ao ITeCons, pela colaboração nesta dissertação, nomeadamente, na realização dos ensaios e à Ecochoice pela sua participação.

Aos meus amigos, companheiros de muitas aventuras, pelo apoio que sempre demonstraram e pela paciência ao longo destes anos.

Aos meus pais, pelo seu infindável apoio e incentivo.

Por último, mas não menos importante, à minha namorada Sandra, pela paciência, dedicação, carinho e compreensão.

A todos o meu muito obrigado.

RESUMO

Os edifícios e os seus espaços são projetados em função da sua utilização. O espaço e a qualidade do ambiente deverão ser adequados aos seus ocupantes. As carreiras de tiro interiores, para fins militares ou de lazer, existem porque permitem proteção contra os agentes atmosféricos, podem ser usadas a qualquer hora e em condições ambientais controladas. Os principais problemas destes espaços podem prender-se com falta de controlo ambiental e ocupacional que resulta em condições de trabalho adversas. De entre os fatores prejudiciais à saúde, destacam-se o efeito da poluição do ar por chumbo e a exposição elevada ao ruído.

Neste trabalho, estudou-se uma carreira de tiro interior analisando-se parâmetros acústicos (como os níveis de ruído) e a qualidade do ar. Os parâmetros acústicos foram avaliados através de medições do tempo de reverberação, isolamento sonoro e níveis sonoros e a qualidade do ar pela recolha e análise de amostras de ar. Estes parâmetros foram comparados com valores de referência para verificar a adequabilidade deste espaço aos seus ocupantes.

Os resultados dos ensaios acústicos revelaram-se satisfatórios indicando um isolamento e condicionamento acústico razoáveis na carreira de tiro interior. Por outro lado, as baixas concentrações de poluentes obtidas nas amostras de ar revelaram a adequabilidade do sistema de ventilação.

ABSTRACT

Buildings and indoor spaces are designed to meet requirements related with their use. Indoor environment should be adapted to the users. Indoor shooting ranges, for military or recreation use, allow protection against atmospheric agents, can be used anytime and under controlled environmental conditions. The major problems related to those spaces could be deficient environmental and occupational control resulting in adverse work conditions. The lead air pollution and noise exposure are among factors producing negative health effects.

In the present work, an indoor shooting has been studied analyzing acoustic parameters (such as acoustics noise levels) and indoor air quality. Acoustics parameters have been evaluated by measuring reverberation time, sound insulation and sound levels. Air quality was evaluated by collection and analysis of air samples. Those parameters have been compared with reference values to verify the adequacy of this space to its occupants.

Result of acoustic tests, proved to be satisfactory indicating reasonable sound insulation and acoustic conditioning in the indoor shooting range. Additionally, low pollutant concentrations obtained in the air samples, showed the suitability of the ventilation system.

ÍNDICE

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 | Enquadramento | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 1.3 | Estrutura da dissertação | 2 |
| 2 | EXIGÊNCIAS DUMA CARREIRA DE TIRO | 4 |
| 2.1 | Introdução | 4 |
| 2.2 | Carreiras de tiro | 5 |
| 2.3 | Acústica | 6 |
| 2.3.1 | Efeitos nefastos do ruído | 6 |
| 2.3.2 | Caracterização da fonte sonora..... | 8 |
| 2.3.3 | Propagação das ondas sonoras..... | 9 |
| 2.3.4 | Condicionamento acústico..... | 10 |
| 2.3.5 | Isolamento acústico | 15 |
| 2.3.6 | Regulamentação e recomendações | 16 |
| 2.3.7 | Medidas de mitigação | 18 |
| 2.4 | Qualidade do ar | 19 |
| 2.4.1 | Contaminação por chumbo..... | 19 |
| 2.4.1.1 | Efeitos na saúde..... | 19 |
| 2.4.1.2 | Fontes de contaminação | 19 |
| 2.4.1.3 | Necessidades de ventilação | 21 |
| 2.4.1.4 | Regulamentação e recomendações..... | 22 |
| 2.4.1.5 | Medidas de mitigação..... | 22 |
| 3 | ESTUDO DE CASO – ABORDAGEM EXPERIMENTAL | 25 |
| 3.1 | Introdução | 25 |
| 3.2 | Descrição do espaço em estudo | 25 |
| 3.3 | Medição de tempos de reverberação..... | 27 |
| 3.4 | Medição de isolamento sonoro | 28 |
| 3.5 | Medição de níveis sonoros..... | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.6 | Caracterização da qualidade do ar | 29 |
| 4 | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS..... | 32 |
| 4.1 | Introdução | 32 |
| 4.2 | Apresentação dos resultados | 32 |
| 4.2.1 | Tempos de reverberação | 32 |
| 4.2.2 | Isolamento sonoro | 33 |
| 4.2.3 | Níveis sonoros | 42 |
| 4.2.4 | Qualidade do ar..... | 44 |
| 4.3 | Avaliação dos resultados | 45 |
| 4.3.1 | Tempos de reverberação | 45 |
| 4.3.2 | Isolamento sonoro | 46 |
| 4.3.3 | Níveis sonoros | 46 |
| 4.3.4 | Qualidade do ar..... | 57 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 58 |
| 5.1 | Considerações finais | 58 |
| 5.2 | Perspetivas de trabalhos futuros..... | 59 |
| | REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA..... | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Representação em corte do aparelho auditivo humano..... | 6 |
| Figura 2.2 – Representação esquemática de uma fonte pontual..... | 9 |
| Figura 2.3 – Representação esquemática da energia sonora incidente, refletida, absorvida, transmitida e dissipada | 9 |
| Figura 2.4 – Ilustração da absorção sonora em materiais fibrosos (à esquerda) e materiais porosos (à direita) | 11 |
| Figura 2.5 – Exemplos de materiais porosos e fibrosos | 11 |
| Figura 2.6 – Ilustração esquemática de um painel ressonante..... | 12 |
| Figura 2.7 – Esquema de funcionamento de um ressoador. | 12 |
| Figura 2.8 – Ilustração esquemática de um painel ressonante (solução mista). | 13 |
| Figura 2.9 – Ilustração esquemática de uma membrana acústica..... | 13 |
| Figura 2.10 – Coeficientes de absorção | 14 |
| Figura 2.11 – Tempo de reverberação | 15 |
| Figura 2.12 – Representação esquemática das transmissões possíveis entre dois compartimentos adjacentes..... | 16 |
| Figura 2.13 – Protetores auditivos (à esquerda) e tampões (à direita) | 18 |
| Figura 2.14 – Representação esquemática de uma munição | 20 |
| Figura 2.15 – Exemplo de munição alternativa (balas de borracha e balas de cera)..... | 23 |
| Figura 3.1 – Revestimento: ladrilhos de caucho ondulado..... | 26 |
| Figura 3.2 – a) Sonómetro; b) Fonte de ruídos aéreos omnidirecional. | 28 |
| Figura 3.3 – Bomba de amostragem e filtro. | 30 |
| Figura 4.1 – Esquema representativo da sala de descanso: Vista em planta. | 33 |
| Figura 4.2 – Curva de valores de referência para sons de condução aérea..... | 37 |
| Figura 4.3 – Sobreposição da curva de referência ajustada com a curva D_{nT} | 39 |
| Figura 4.4 – Espetros para o cálculo dos termos de adaptação espectral..... | 40 |
| Figura 4.5 – Espectro de curvas NC | 52 |
| Figura 4.6 – Espectro de curvas NR. | 53 |
| Figura 4.7 – Espectro de curvas PNC..... | 54 |
| Figura 4.8 – Espectro de curvas NCB. | 54 |

Figura 4.9 – Espectro de curvas RC 55

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 2.1 – Relação dos níveis sonoros/efeito do ruído (Tadeu et al, 2010)..... | 8 |
| Quadro 4.1 – Tempos de reverberação..... | 32 |
| Quadro 4.2 – Nível sonoro médio no compartimento emissor..... | 34 |
| Quadro 4.3 – Nível sonoro médio no compartimento recetor..... | 34 |
| Quadro 4.4 – Nível sonoro médio do ruído de fundo no compartimento recetor..... | 35 |
| Quadro 4.5 – Nível sonoro médio corrigido no compartimento recetor..... | 35 |
| Quadro 4.6 – Tempos de reverberação no compartimento recetor..... | 36 |
| Quadro 4.7 – Isolamento sonoro padronizado..... | 36 |
| Quadro 4.8 – Valores de referência para sons de condução aérea..... | 36 |
| Quadro 4.9 – Ajuste da curva de referência..... | 37 |
| Quadro 4.10 – Processo iterativo de ajuste da curva de referência..... | 38 |
| Quadro 4.11 – Valores de referência ajustados..... | 38 |
| Quadro 4.12 – Espetros para o cálculo dos termos de adaptação espectral..... | 39 |
| Quadro 4.13 – Cálculo do termo de adaptação espectral C através do espectro de ruído rosa (espectro 1)..... | 41 |
| Quadro 4.14 - Cálculo do termo de adaptação espectral C_r através do espectro de ruído de tráfego (espectro 2)..... | 41 |
| Quadro 4.15 – Níveis sonoros no interior da carreira de tiro..... | 43 |
| Quadro 4.16 – Níveis sonoros do ruído de fundo na sala de descanso..... | 43 |
| Quadro 4.17 – Níveis sonoros na sala de descanso..... | 43 |
| Quadro 4.18 – Amostra recolhida ao nível do solo (à esquerda)..... | 44 |
| Quadro 4.19 – Amostra recolhida ao nível do solo (à direita)..... | 44 |
| Quadro 4.20 – Amostra recolhida no atirador 1..... | 45 |
| Quadro 4.21 – Amostra recolhida no atirador 2..... | 45 |
| Quadro 4.22 – Cenários considerados para a avaliação da exposição ao ruído..... | 47 |
| Quadro 4.23 – Valores de L_n para o protetor auditivo “Peltor SportTac”..... | 48 |
| Quadro 4.24 – Valores de L_n para o protetor auditivo “Peltor Optime III”..... | 48 |
| Quadro 4.25 – Valores de L_n para o protetor auditivo “Peltor Bull’s Eye”..... | 48 |

| | |
|--|----|
| Quadro 4.26 – Exposição pessoal diária ao ruído para o cenário 1 (com protetores). | 49 |
| Quadro 4.27 – Exposição pessoal diária ao ruído para o cenário 2 (com protetores). | 50 |
| Quadro 4.28 – Comparação de diferentes critérios de nível sonoro ambiente | 56 |
| Quadro 4.29 – Valores de L_{Aeq} para a situação A e B. | 56 |
| Quadro 4.30 – Resultados dos critérios de conforto acústico NC, NR, PNC, NBC e RC. | 57 |

SIMBOLOGIA

- α – Coeficiente de absorção
 Δ – Desvio desfavorável
 Δt_i – Intervalo de medição
Ba – Símbolo químico do bário
C e C_{tr} – Termos de adaptação espectral
 C_j – Termo de adaptação espectral
 D_{nT} – Isolamento sonoro padronizado
 $D_{nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro
i – Índice de identificação da banda de frequência
j – Índice de identificação do espectro
k – Índice de identificação do ruído
K – Correção devido as características tonais
L – Nível sonoro médio
 L_1 – Nível sonoro médio no compartimento emissor
 L_2 – Nível sonoro médio corrigido no compartimento recetor
 L_A – Nível sonoro contínuo equivalente
 L_{Aeq} – Nível sonoro contínuo equivalente
 $L_{Aeq,f,Tk}$ – Nível sonoro medido
 $L_{Aeq,Tk,efect}$ – Nível sonoro contínuo equivalente com protetores auditivos
 $L_{Ar,nT}$ – Nível de avaliação padronizado
 L_b – Nível sonoro médio do ruído de fundo no compartimento recetor
 $L_{EX,8h,efect}$ – Exposição pessoal diária efetiva
 L_i – Nível sonoro medido; nível sonoro correspondente ao intervalo Δt_i
 L_{ij} – Nível de pressão sonora para bandas de frequência i e espectro j
 L_n – Nível global
 L_{sb} – Nível sonoro médio no compartimento recetor
 M_f – Valor médio de atenuação
Pb – Símbolo químico do chumbo
Sb – Símbolo químico do antimônio
 S_f – Desvio padrão da atenuação
T – Tempo de reverberação; Tempo de medição
 T_0 – Tempo de reverberação de referência
 T_k – Tempo de exposição
 T_r – Tempo de reverberação

$T_{r\ 500\text{Hz}}$ – Tempo de reverberação para a banda de frequência 500 Hz

$T_{r\ 1000\text{Hz}}$ – Tempo de reverberação para a banda de frequência 1000 Hz

$T_{r\ 2000\text{Hz}}$ – Tempo de reverberação para a banda de frequência 2000 Hz

V – Volume

X – Termo auxiliar

X_{Aj} – Termo auxiliar

X_i – Isolamento sonoro padronizado para a banda de frequência i

X_w – Índice de isolamento sonoro padronizado

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

As carreiras de tiro são infraestruturas destinadas à prática de tiro com armas de fogo, geralmente utilizadas para fins ocupacionais, como acontece com as forças armadas e as forças de segurança, ou para fins desportivos e de lazer, no caso da prática das modalidades de tiro desportivo.

Os principais problemas destas instalações podem prender-se com falta de controlo ambiental e ocupacional que resulta em condições adversas para os seus utilizadores. Destacam-se, entre outros fatores, a exposição a elevados níveis de ruído e o efeito da concentração de chumbo existente no ar. A sua sustentabilidade económica deve ir além do tradicional conceito de segurança, considerando os impactos ambientais resultantes do ruído e da contaminação dos recursos naturais, associados à prática de tiro, assim como os aspetos associados à saúde e à segurança no trabalho.

As carreiras de tiro interiores apresentam vantagens em relação às exteriores, uma vez que permitem proteção contra os agentes atmosféricos e podem ser usadas a qualquer hora do dia e em condições ambientais controladas. Porém, podem apresentar elevados níveis de ruído no seu interior devido à utilização de revestimentos inadequados, e no seu exterior, devido à aplicação de isolamento ineficaz. Por outro lado, podem apresentar também elevadas concentrações de chumbo que podem estar associadas a condições de ventilação deficitárias. O estudo de caso analisado neste trabalho acontece numa carreira de tiro subterrânea (interior), e como tal, será dada mais ênfase a este tipo de carreira de tiro.

A falta de informação e regulamentação específica sobre as carreiras de tiro, aliadas a questões de confidencialidade, a que normalmente estão sujeitas estas instalações, constituem um entrave para o desenvolvimento deste tipo de infraestruturas. A informação disponível ao público é, maioritariamente, proveniente dos EUA por ser um dos países com maiores referências nesta área, devido ao forte desenvolvimento da indústria bélica junto da sociedade civil.

Nesta dissertação, houve oportunidade de estudar-se uma carreira de tiro interior em funcionamento, analisando-se os parâmetros dos níveis de ruído e da qualidade do ar. Este estudo foi realizado com intuito de averiguar a qualidade acústica da carreira de tiro, através

de medições do tempo de reverberação, isolamento sonoro e níveis sonoros, bem como a qualidade do ar, para conferir a adequabilidade do sistema de ventilação.

1.2 Objetivos

Esta dissertação incide sobre o funcionamento de carreiras de tiro interiores. Neste trabalho, foi especificamente solicitado que se efetuasse um estudo que abrangesse aspetos relacionados com a qualidade do ar e o ruído na carreira de tiro.

Após a análise das condições para realizar os ensaios e em função dos equipamentos disponíveis definiram-se os seguintes objetivos:

- Avaliar o tempo de reverberação no interior da carreira de tiro;
- Avaliar o isolamento sonoro a sons aéreos entre a carreira de tiro e gabinete de trabalho e/ou descanso;
- Avaliar o nível sonoro, com origem na carreira de tiro, num gabinete de trabalho e/ou descanso;
- Avaliar, no interior da carreira de tiro, o ruído a que os atiradores estão expostos;
- Avaliar a contaminação do ar, da carreira de tiro, por chumbo;
- Analisar os resultados obtidos, e sempre que possível compará-los com valores de referência.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos e a respetiva bibliografia.

No capítulo inicial encontra-se subdividido em três subcapítulos, o enquadramento, com uma breve introdução e onde são apresentados alguns conceitos relacionados com as carreiras de tiro, os objetivos, onde são estabelecidas as diretrizes deste estudo e a estrutura da dissertação, onde é exposto, em termos de conteúdo, a organização seguida no trabalho.

No segundo capítulo, introduzem-se os aspetos críticos relacionados com as carreiras de tiro, nomeadamente, no que se refere às exposições ao ruído e ao chumbo. São caracterizados e descritos, de forma sucinta, alguns conceitos que lhe estão associados.

No capítulo três é o capítulo onde são apresentadas as metodologias seguidas na dissertação. Caracteriza-se a carreira de tiro em estudo, em termos de geometria, materiais e equipamentos que a constituem, descreve-se os ensaios realizados e os equipamentos utilizados para a realização das medições.

No capítulo quatro são apresentados os resultados obtidos das medições e à sua discussão. Confere-se a qualidade acústica e do ar no interior da carreira de tiro e o comprimento de alguns parâmetros em relação a legislação em vigor.

Por fim, no quinto e último capítulo, é efetuada uma síntese das ideias principais a retirar deste trabalho e, de forma geral, sobre toda a problemática neste referenciado. São também apontadas propostas de temas de trabalhos para desenvolvimento futuro, relacionados com esta dissertação.

2 EXIGÊNCIAS DUMA CARREIRA DE TIRO

2.1 Introdução

O conceito de segurança em carreiras de tiro é normalmente associado a questões relacionadas com a balística. No entanto, existem outros aspetos não menos importantes que devem ser considerados, nomeadamente, a exposição ao ruído e a exposição ao chumbo.

A exposição aos elevados níveis de ruído a que os utilizadores das carreiras de tiro ficam sujeitos, torna-se uma problemática de maior importância, uma vez que, pode apresentar consequências nefastas para a saúde. A energia sonora originada pelo disparo das armas propaga-se no interior das carreiras de tiro, através de ondas sonoras que ao incidirem numa superfície são, nas devidas proporções, refletida, absorvida e transmitida. Assim, o tratamento acústico deve prender-se com a redução da energia refletida (condicionamento acústico), aumentando a capacidade de absorção no interior das carreiras de tiro, e com a diminuição da energia transmitida (isolamento acústico) para o exterior das mesmas. Por outro lado, para salvaguardar o bem-estar e a saúde dos utilizadores das carreiras de tiro, o decreto-lei nº182/2006 estabelece os requisitos mínimos relativos à proteção dos trabalhadores contra os riscos resultantes da exposição ao ruído. Para além do condicionamento acústico e do isolamento sonoro existem outras medidas que devem ser consideradas para a atenuação dos níveis de ruído, tais como, por exemplo, a utilização de equipamentos de proteção auditiva ou a implementação de programas de controlo e monitorização do ruído.

Para além do ruído, outra problemática com que se deparam os utilizadores das carreiras de tiro é a exposição a elevadas concentrações de chumbo. O chumbo é um elemento que ao ser admitido pelo organismo pode causar danos nos vários sistemas do corpo humano. As munições são a principal fonte de chumbo nas carreiras de tiro, porém, a contaminação advém dos vários processos que envolvem o disparo das armas e que resultam na libertação de gases e partículas de chumbo. Por isso, para evitar a acumulação excessiva de chumbo nas carreiras de tiro e, assim, diminuir os riscos de contágio, é necessário prever um sistema de ventilação adequado e eficiente. Tal como para o ruído, existe para salvaguardar o bem-estar e saúde dos utilizadores das carreiras de tiro, o decreto-lei nº24/2012 que estabelece os requisitos mínimos relativos à proteção dos trabalhadores contra os riscos resultantes da exposição a agentes químicos. Outras formas de reduzir os riscos de intoxicação por chumbo podem passar, por exemplo, pela utilização de munições alternativas que não contenham chumbo na sua constituição.

Neste capítulo vão apresentar-se conceitos relacionados com as carreiras de tiro e a prática de tiro com armas de fogo.

2.2 Carreiras de tiro

Em Portugal, as carreiras de tiro são regidas pelo decreto regulamentar nº6/2010 que define as regras aplicáveis ao licenciamento de complexos, carreira e campos de tiro para a prática de tiro com armas de fogo. Este decreto indica que estes complexos devem obedecer, em termos de ruído, ao exposto no regulamento geral do ruído, aprovado pelo decreto-lei nº9/2007. No entanto, o decreto regulamentar nº6/2010, não abrange as instalações pertencentes às forças armadas e às forças e serviços de segurança, sendo estas regidas pelo regulamento administrativo RAD-38-1 em conjunto com o manual técnico MT-38-2.

De acordo com o decreto regulamentar nº6/2010, as carreiras de tiro definem-se como sendo “a instalação, interior ou exterior, funcional e exclusivamente destinada à prática com armas de fogo carregada com projétil único” e podem ser classificadas em carreiras de tiro interiores e exteriores, como é perceptível pela sua definição. Outra classificação pertinente é a distância máxima a que pode ser realizado o tiro podendo este ser efetuado aos 25, 50, 100, 200 e 300 m.

As carreiras de tiro podem ser divididas, simplificadamente, em duas zonas ou áreas distintas: a zona de apoio ou serviço e a zona de tiro. A área de apoio refere-se aos espaços circundantes à instalação funcionalmente destinada à prática de tiro, designadamente os que se destinam a outras atividades, incluindo gabinetes, salas de instrução, arrecadações, sanitários e parques de estacionamento, entre outros. A área de tiro é a zona destinada ao tiro propriamente dito e inclui os elementos comuns a todas as carreiras de tiro, nomeadamente, o leito da carreira de tiro, a plataforma de tiro, as linhas de alvos, o dispositivo de desenfiamento e o sistema de iluminação.

Como foi referido anteriormente, na zona de tiro existem elementos comuns a todas as carreiras de tiro. O leito da carreira de tiro corresponde à faixa de terreno entre a plataforma de tiro mais recuada e a linha de alvos. A plataforma de tiro é a faixa transversal ao eixo da carreira de tiro onde ficam dispostos os atiradores no ato do tiro. Por sua vez, a linha de alvos refere-se à linha onde são colocados os alvos. Destaque-se, ainda, a linha de tiro que corresponde a uma linha imaginária que define a trajetória do tiro desde o local onde se situa o atirador, na plataforma de tiro, até ao alvo, situado na linha de alvos.

Os dispositivos de desenfiamento ou para-balas destinam-se, essencialmente, à detenção dos projéteis provenientes do tiro, impedindo a sua saída para o exterior da zona de tiro ou a

ocorrência de ricochete. Entende-se por ricochete a trajetória secundária que o projétil descreve quando embate numa superfície resistente e não ocorre penetração ou desintegração do mesmo. Já um tiro direto é definido como aquele que ocorre sem qualquer desvio da trajetória inicialmente prevista.

As carreiras de tiro devem ser equipadas de adequados sistemas de iluminação e ventilação. A iluminação deve incidir, sobretudo, na plataforma de tiro e na linha de alvos e deve ser orientada de forma a não promover o encandeamento dos atiradores. Os sistemas de ventilação serão devidamente referidos, mais à frente, neste trabalho.

2.3 Acústica

2.3.1 Efeitos nefastos do ruído

Uma excessiva e prolongada exposição ao ruído pode desenvolver efeitos prejudiciais para a saúde, nomeadamente, alterações fisiológicas (perda auditiva), cardiovasculares (hipertensão arterial) e psicológicas (cansaço, stress e irritabilidade).

O ouvido (Seeley et al, 2003) é um mecanismo complexo e muito delicado, responsável pela audição e equilíbrio do homem, conforme ilustra a figura 2.1. Este divide-se anatómico e fisiologicamente em três partes distintas: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno.

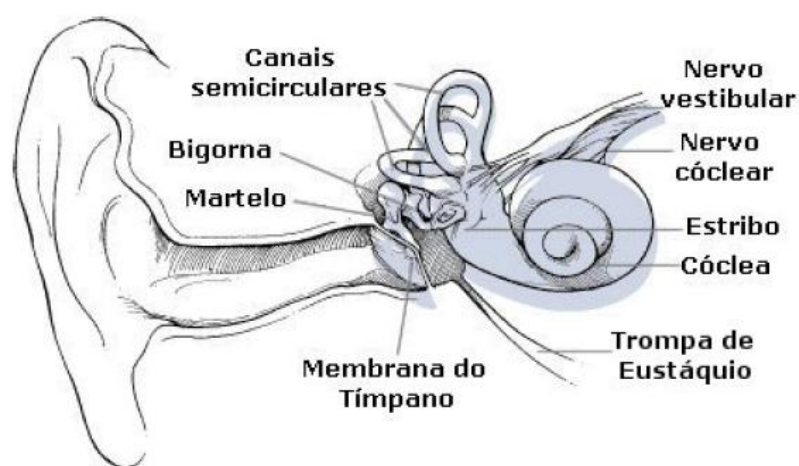


Figura 2.1 – Representação em corte do aparelho auditivo humano (Arezes, 2002).

O ouvido externo inclui o pavilhão auricular e o canal auditivo externo ou conduto auditivo que termina no tímpano. O pavilhão auricular ou orelha consiste em cartilagem elástica

revestida por pele e tem como função recolher o som e encaminhá-lo para o conduto auditivo. A membrana timpânica é uma membrana delgada e semitransparente que vibra sempre que recebe um som vindo do canal auditivo externo.

O ouvido médio está alojado na porção rochosa do osso temporal e contém os ossículos auditivos (martelo, bigorna e estribo). Estes comunicam entre si, transmitindo as vibrações mecânicas recebidas pelo tímpano até à janela oval. As células mastoideias e a trompa de Eustáquio permitem a passagem de ar para o ouvido médio, contribuindo para equalizar a pressão entre o ar exterior e a cavidade do ouvido médio. O ouvido tem um sistema de defesa para sons impulsivos, que é efetuado por dois músculos ligados ao martelo e ao estribo, apesar de ter uma resposta lenta para um ruído súbito como o caso de um tiro.

O ouvido interno contém os órgãos sensoriais da audição e do equilíbrio. Consiste em canais ósseos designados por labirinto ósseo que, por sua vez, pode ser subdividido em vestíbulo, canais semicirculares e cóclea. Os primeiros dois são responsáveis pelo equilíbrio, ao passo que a cóclea está envolvida na audição. Esta é constituída por dois líquidos (perilínfa e endolínfa) que ao receberem a vibração da janela oval vão propagar a onda. A janela redonda permite libertar as ondas mecânicas e a pressão vindas da parte interna da cóclea. Os sons agudos geram ondas que atingem o máximo de vibração na base da cóclea, ao passo que os sons graves atingem o máximo no ápex da membrana. As ondas são transformadas em impulsos elétricos que, por sua vez, são transmitidos ao encéfalo pelo nervo coclear.

A perda de audição é classificada consoante a parte do ouvido em que ocorre a lesão, ou seja, perda da condução auditiva e perda da audição sensorioneural. A primeira é resultante de uma deficiência mecânica da transmissão do som entre o ouvido externo e o ouvido médio, enquanto a segunda é causada por uma insuficiência do ouvido interno.

As perdas auditivas (Basto, 2008 e Arezes, 2002) provocadas pelo ruído podem ser divididas em três níveis: Trauma acústico, deslocamento temporário dos limiares auditivos (TTS – Temporary Threshold Shift) e deslocamento permanente dos limiares auditivos (PTS – Permanent Threshold Shift). O trauma acústico resulta de uma lesão do mecanismo auditivo no ouvido interno consequente da exposição a ruídos impulsivos e de elevada intensidade como ocorre, por exemplo, numa explosão. O deslocamento do limiar auditivo corresponde a uma redução, após a exposição ao ruído, da sensibilidade auditiva e pode ser traduzido pela diferença entre o nível do limiar auditivo antes da exposição e o nível do limiar auditivo após a exposição. Pode resultar de trauma acústico ou da exposição prolongada e repetida ao ruído. O deslocamento pode ser temporário ou permanente, sendo reversível no primeiro caso e a título definitivo no segundo.

Para uma correta prevenção torna-se crucial conhecer a partir de que níveis ocorrem efeitos prejudiciais à saúde e quais esses efeitos. O quadro 2.1 apresenta os valores a partir dos quais os níveis sonoros podem desenvolver alterações prejudiciais para a saúde.

Quadro 2.1 – Relação dos níveis sonoros/efeito do ruído (Tadeu et al, 2010)

| Nível sonoro | Efeitos do ruído |
|--------------|--|
| ≥ 30 dB(A) | Reações psíquicas (cansaço, stress, irritabilidade, ansiedade, etc.) |
| ≥ 65 dB(A) | Reações fisiológicas (hipertensão arterial, fadiga muscular, etc.) |
| ≥ 85 dB(A) | Trauma acústico Deslocamento temporário do limiar de audição |
| ≥ 120 dB(A) | Lesões irreversíveis no sistema auditivo Destruição de células nervosas |

2.3.2 Caracterização da fonte sonora

O ruído provocado pelo disparo (Macedo, 2004 e Basto, 2008) de uma arma de fogo é composto por três tipos de sons: a detonação, a chicotada e o silvo. A detonação é a componente de maior intensidade sonora e pode ser audível a alguns quilómetros de distância da fonte sonora. A chicotada e o silvo são de menor intensidade sonora e ambos são perceptíveis apenas por quem estiver próximo do plano de tiro mas suficientemente afastado da arma. Por isso, os efeitos acústicos provenientes da chicotada e do silvo podem, para efeitos de condicionamento acústico, ser considerados desprezáveis quando comparados com os efeitos produzidos pela detonação. O disparo de uma arma de fogo atinge níveis sonoros entre 120 a 140 dB.

A detonação (Macedo, 2004) é resultante da combustão da pólvora que provoca uma expansão brusca dos gases no cano da arma. A explosão provoca uma forte deslocação da massa de ar circundante, comprimindo as camadas de ar adjacentes. São as consequentes compressões e descompressões das sucessivas camadas de ar que se traduzem em som. O ruído provocado pela detonação é caracterizado por ser do tipo impulsivo, de elevada intensidade sonora, de curta duração e de amplo conteúdo espectral.

A chicotada e o silvo ocorrem durante o deslocamento do projétil ao longo da sua trajetória e resulta essencialmente da velocidade de deslocamento do projétil.

2.3.3 Propagação das ondas sonoras

A energia sonora provocada pelo disparo (Tadeu et al, 2010 e Patrício, 2010) de uma arma de fogo propaga-se através da atmosfera, de forma radial e isotrópica, por ondas esféricas, conforme ilustra esquematicamente a figura 2.2. Em campo livre, à medida que estas se afastam da fonte sonora verifica-se um aumento da superfície da frente de onda, sendo que, por consequência, a energia sonora por unidade de área diminui proporcionalmente (quando a distância aumenta para o dobro, a energia sonora diminui para um quarto). Esta redução traduz-se numa diminuição de 6 dB no nível de intensidade sonora sempre que a distância à fonte sonora duplica.

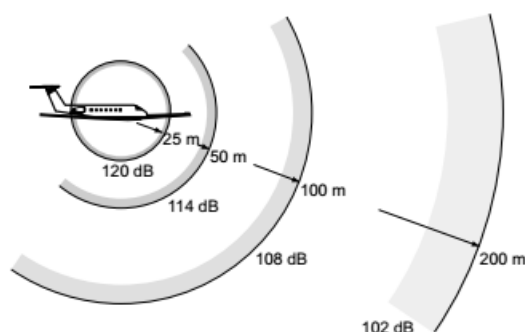


Figura 2.2 – Representação esquemática de uma fonte pontual (Isbert, 1998).

Em espaços fechados, as ondas sonoras sofrem alterações que decorrem da existência de limites físicos (paredes, pavimentos e tetos). Sempre que uma onda sonora atinge uma superfície, uma parte da energia que lhe está associada é refletida pelo elemento, outra é absorvida nesse mesmo elemento e outra é, ainda, transmitida ao espaço adjacente, de acordo com o ilustrado na figura 2.3.

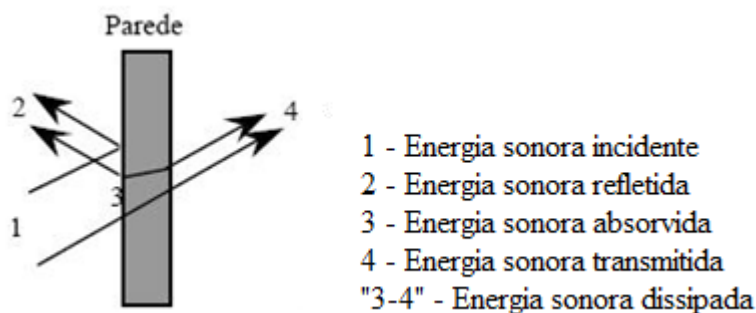


Figura 2.3 – Representação esquemática da energia sonora incidente, refletida, absorvida, transmitida e dissipada (Tadeu et al, 2010).

Nestas condições pode estabelecer-se um campo reverberante consequente das múltiplas reflexões da energia sonora nas superfícies limítrofes. Assim, num recinto fechado, o nível sonoro em qualquer ponto resulta da energia incidente diretamente nesse ponto (campo direto) e da energia refletida pelos obstáculos existentes (campo reverberante). Por este motivo, o nível sonoro numa carreira de tiro interior será sempre superior ao registado em carreiras de tiro exteriores. O adequado condicionamento acústico das superfícies da carreira de tiro interior é um fator fundamental para controlar os níveis sonoros no interior das mesmas.

2.3.4 Condicionamento acústico

O condicionamento acústico (Tadeu et al, 2010 e Basto, 2008) pressupõe o estudo da propagação da energia sonora no interior de um espaço fechado, de forma a garantir um ambiente sonoro adequado ao seu volume e à sua utilização. Assim, com esta análise pretende-se minimizar a energia refletida no interior do espaço com a aplicação de revestimentos que permitam uma maior absorção e, consequente redução da formação de campo reverberante.

Os materiais e sistemas com maior capacidade de absorção, também designados por materiais e sistemas acústicos, podem ser classificados, essencialmente, segundo três grandes categorias: os materiais porosos ou fibrosos, os ressoadores, e as membranas.

Materiais Porosos ou fibrosos

Os materiais porosos são caracterizados por possuírem pequenos orifícios abertos para o exterior e que podem comunicar entre si. O movimento do ar contido nos poros do material, sob efeito da variação de pressão acústica, converte parte da energia acústica em energia térmica. Esta transformação resulta da interação entre o ar e as superfícies dos poros, em material poroso, ou do atrito que ocorre entre as fibras do material, no caso de material fibroso (figura 2.4).

Este tipo de material apresenta melhor desempenho nas altas frequências (1600 Hz a 6400 Hz) e a sua eficácia depende essencialmente da densidade e da espessura.

São exemplo de materiais porosos ou fibrosos as fibras minerais (lã de rocha e lã de vidro), os aglomerados de cortiça e de borracha, as espumas flexíveis de poliuretano, as mantas de fibras de poliéster, as alcatifas e os tecidos (figura 2.5).

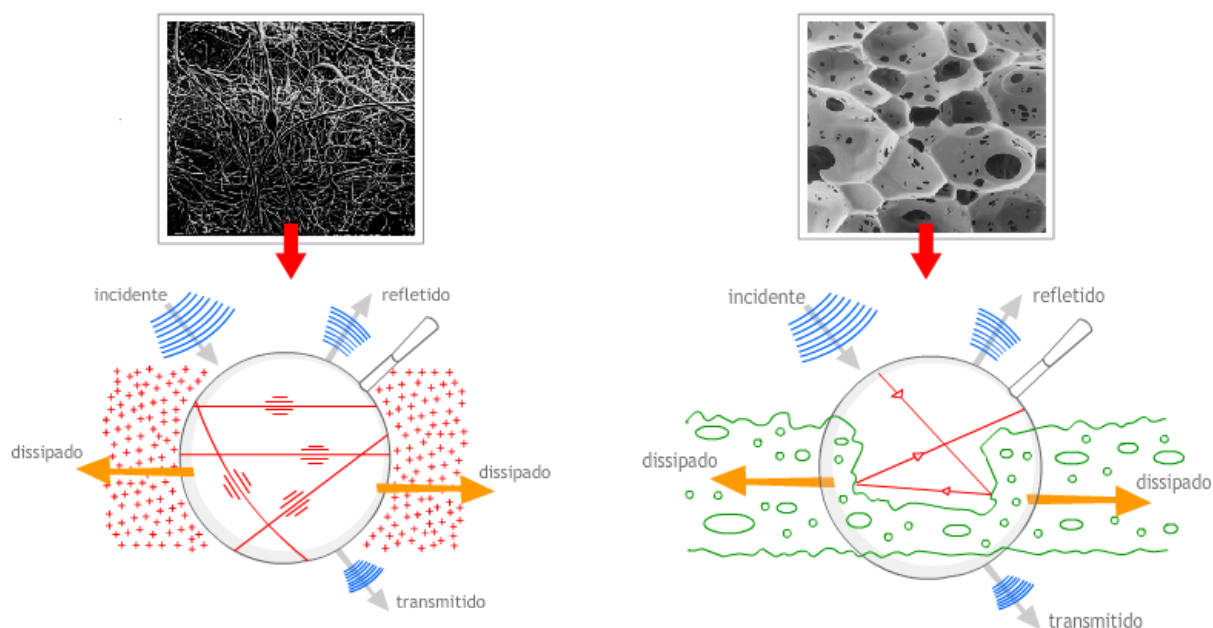


Figura 2.4 – Ilustração da absorção sonora em materiais fibrosos (à esquerda) e materiais porosos (à direita) (Portela, 2011).



Figura 2.5 – Exemplos de materiais porosos e fibrosos (Construindo, 2015, Ratsa, 2015, Conseco, 2015, Tropicalrio, 2015 e Isocor, 2015).

Ressoadores

Os ressoadores são constituídos normalmente por painéis perfurados ou ranhurados e por uma caixa-de-ar, também designada por caixa-de-ressonância, conforme ilustra esquematicamente a figura 2.6.

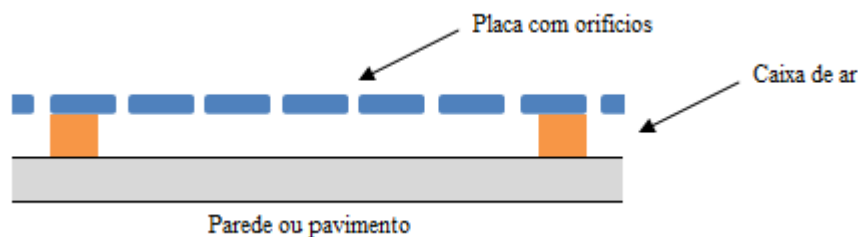


Figura 2.6 – Ilustração esquemática de um painel ressonante (adaptado de Tadeu et al, 2010).

A entrada de ondas sonoras num ressoador provoca movimentos alternados na massa de ar que está no seu interior, cujo atrito contra as paredes do ressoador provoca a dissipação da energia acústica. Este fenómeno pode ser ilustrado (figura 2.7) por um sistema massa-mola, com amortecimento, em que o ar na abertura e no interior do ressoador correspondem ao elemento massa e o elemento mola, respetivamente, e os mecanismos de dissipação de energia por atrito ao amortecimento respetivo.

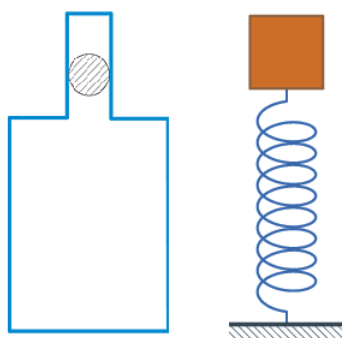


Figura 2.7 – Esquema de funcionamento de um ressoador (adaptado de Tadeu et al, 2010).

Este tipo de material apresenta maior eficácia para frequências médias (400 Hz a 1600 Hz), contudo encontram-se ressoadores para qualquer frequência.

A eficiência do ressoador pode ser melhorada aumentando a área perfurada do painel, até atingir o seu limite máximo (cerca de 25% da área do painel), e/ou pela colocação de um

material poroso na caixa-de-ressonância (solução mista), conforme ilustra esquematicamente a figura 2.8.

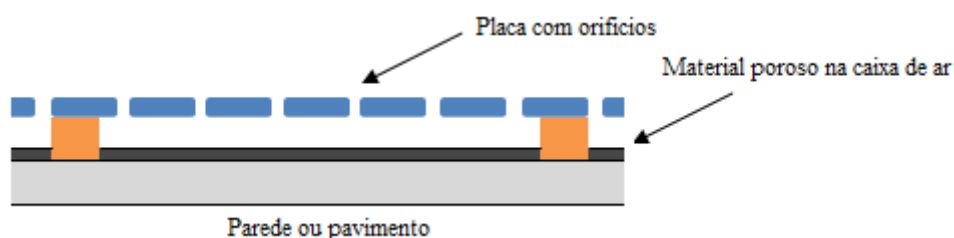


Figura 2.8 – Ilustração esquemática de um painel ressonante (solução mista) (adaptado de Tadeu et al, 2010).

Membranas

As membranas são constituídas por uma placa flexível, de espessura reduzida, e por uma caixa-de-ar, de acordo com o ilustrado na figura 2.9.

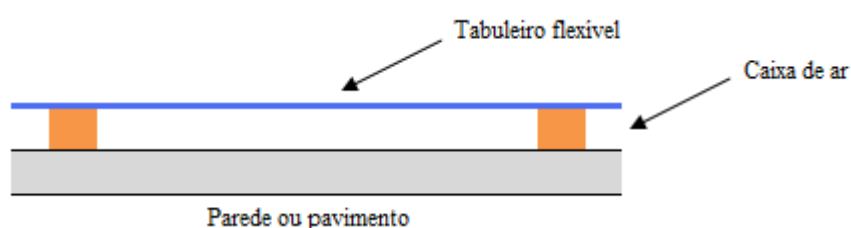


Figura 2.9 – Ilustração esquemática de uma membrana acústica (adaptado de Tadeu et al, 2010).

Neste caso, a absorção da energia sonora é conseguida através do movimento vibratório da placa (membrana), isto é, pelo atrito interno de deformação (atrito das fibras dos materiais quando estes entram em flexão) e pelo atrito nos apoios.

As membranas são especialmente adequados à atenuação de baixas frequências (100 Hz a 400 Hz).

Os três tipos de materiais apresentam capacidades de absorção distintas. A figura 2.10 ilustra os coeficientes de absorção (α) de cada tipo de material, onde é possível comparar a eficiência de cada um para as diferentes gamas de frequência (Hz) e compará-los com a solução mista referida anteriormente.

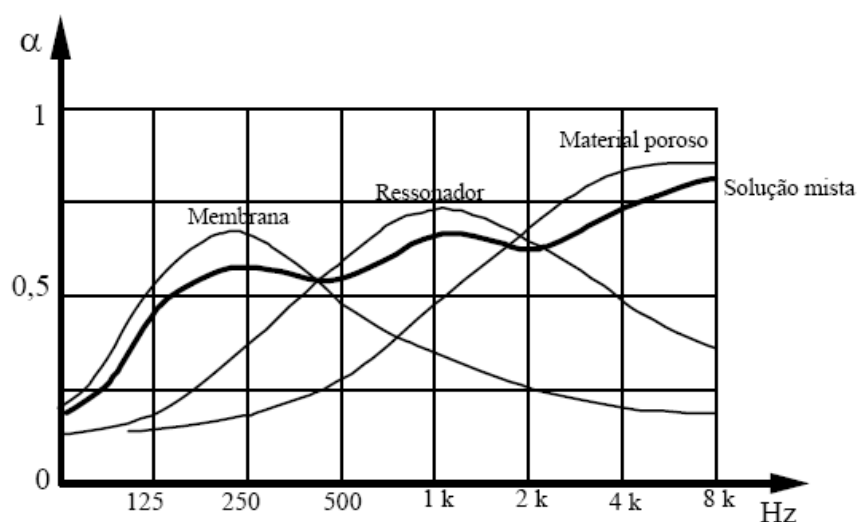


Figura 2.10 – Coeficientes de absorção (Tadeu et al, 2010).

A escolha dos materiais acústicos, particularmente em carreiras de tiro, não deve limitar-se à componente acústica. Além deste fator, devem considerar-se outros aspetos, nomeadamente:

- Resistência ao fogo;
- Resistência mecânica;
- Minimização/Eliminação de ricochete;
- Facilidade de limpeza e manutenção;
- Adaptação aos sistemas de eletricidade, iluminação e ventilação.

Os materiais absorventes são utilizados para reduzir os níveis sonoros no interior da carreira de tiro, tendo também um papel preponderante na diminuição dos tempos de reverberação da mesma. O decreto-lei nº96/2008 (RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios) que estabelece requisitos acústicos para espaços em edifícios, inclui tempos máximos de reverberação em função do volume e da funcionalidade do espaço. No entanto, as carreiras de tiro pela sua especificidade não são contempladas pelo regulamento o que dificulta a avaliação deste parâmetro acústico.

Tempo de reverberação

O tempo de reverberação (Tadeu et al, 2010) é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade acústica de espaços fechados. Por definição, o tempo de reverberação corresponde ao intervalo de tempo, geralmente em segundos, necessário para que ocorra um decaimento de 60 dB no nível sonoro, após a interrupção da fonte sonora, conforme ilustra a figura 2.11. Este

parâmetro depende da localização da fonte sonora, da frequência do som produzido, da absorção sonora dos materiais de revestimento e elementos de compartimentação e do volume e ocupação do espaço (mobiliário e/ou pessoas).

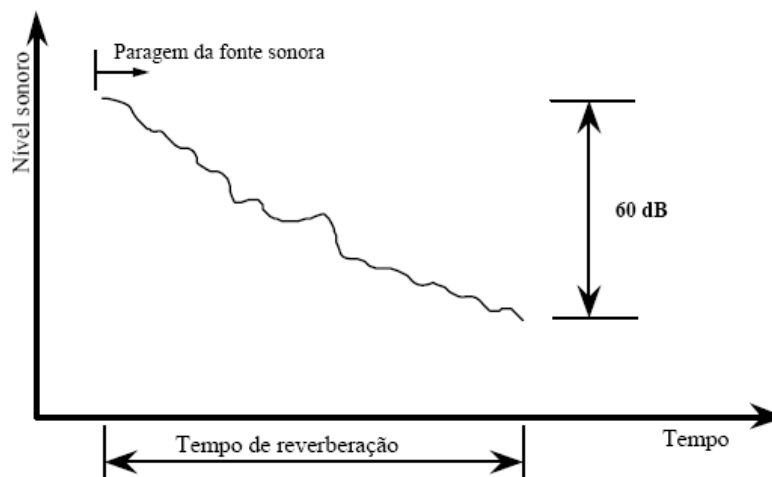


Figura 2.11 – Tempo de reverberação (Tadeu et al, 2010).

Para o caso do ruído de fundo existente ser muito elevado, não permitindo uma redução do nível sonoro de 60 dB, é frequente realizarem-se medições apenas para o tempo de decaimento de 30 dB ou 20 dB, sendo o tempo de reverberação extrapolado para um decaimento de 60 dB.

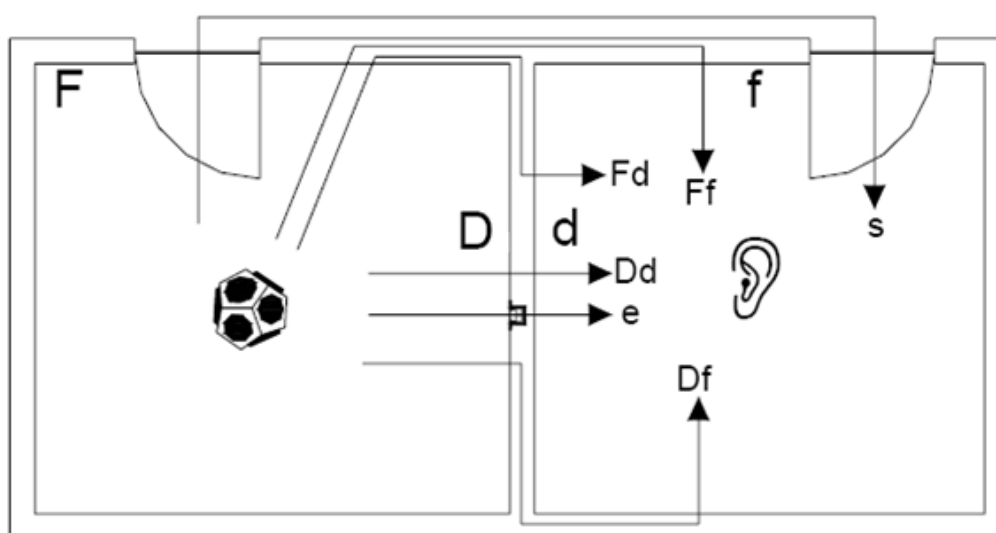
2.3.5 Isolamento acústico

O isolamento sonoro (Tadeu et al, 2010), vulgarmente confundido com o condicionamento acústico, pressupõe o estudo da propagação da energia sonora entre dois espaços separados fisicamente, onde num dos espaços está a fonte sonora e no outro pretende-se que o nível sonoro seja tão baixo quanto possível.

O isolamento acústico depende de vários fatores, nomeadamente, da massa do elemento de separação e da frequência do som incidente, uma vez que a transmissão da energia sonora dá-se por vibração deste mesmo elemento. Outros aspetos que podem ditar uma maior ou menor eficácia do isolamento sonoro são a rigidez e o amortecimento do elemento de separação, o ângulo de incidência das ondas sonoras, ou ainda, a existência de “pontos fracos” no elemento. Para além dos elementos de separação, a transmissão sonora depende também das respetivas ligações aos elementos contíguos e da propagação do som, tanto no recinto emissor, como no recinto recetor.

O ruído pode ser transmitido aos locais adjacentes, pela via aérea (transmissão aérea), que resulta da propagação das ondas sonoras no ar e que se propagam aos elementos de separação, ou por via sólida (transmissão sólida), resultante da percussão nesses mesmos elementos. No entanto, o som produzido por uma delas tende a superiorizar-se em relação à outra, sendo que neste caso, para efeitos de isolamento acústico, pode considerar-se o som de menor intensidade desprezável.

A transmissão do som entre dois recintos é um fenómeno complexo que envolve dois tipos de transmissões: as diretas, que surgem através do elemento de separação, e as secundárias ou marginais, que ocorrem através de elementos de compartimentação adjacentes, de acordo com o ilustrado na figura 2.12. As transmissões que ocorrem através de elementos singulares como portas, janelas ou condutas de ventilação, são designadas como transmissões indiretas (parasitas).



Dd - Transmissão direta; e - Transmissão direta através de "pontos fracos"
Df, Ff e Fd - Transmissão marginal através dos elementos de compartimentação adjacentes
s - Transmissão indireta (parasita)

Figura 2.12 – Representação esquemática das transmissões possíveis entre dois compartimentos adjacentes (Mateus, 2008).

Numa carreira de tiro inserida num edifício com outras valências, a necessidade de um bom isolamento sonoro torna-se indispensável, para que os elevados níveis de ruído produzidos na mesma não afetem o rendimento dos utilizadores dos espaços adjacentes.

2.3.6 Regulamentação e recomendações

O decreto-lei nº182/2006 estabelece os requisitos mínimos relativos à proteção dos trabalhadores contra os riscos resultantes da exposição ao ruído. Este decreto-lei apresenta os valores limite de exposição e os valores de ação superior e inferior, no que se refere à exposição pessoal diária ou semanal de um trabalhador e ao nível de pressão sonora de pico.

De acordo com o presente diploma, o valor limite de exposição é de 87 dB(A) e o valor limite de exposição a ruídos de pico é de 140 dB(C), sendo que estes valores são obtidos tendo em conta a atenuação do ruído proporcionada pela utilização de protetores auditivos.

Os valores de ação superior e inferior estabelecem os valores a partir dos quais são necessárias medidas preventivas adequadas à redução do risco para a segurança e saúde dos trabalhadores. Para a exposição pessoal diária ou semanal, estes assumem valores de 85 dB(A) e 80 dB(A), respetivamente. Quanto aos níveis estabelecidos para exposição a ruídos de pico, os valores superior e inferior são de 137 dB(C) e 135 dB(C), respetivamente. No entanto, ao contrário do que acontece com os valores limite de exposição, estes valores são obtidos sem ter em conta a atenuação do ruído proporcionada pela utilização de protetores auditivos.

Nos EUA, organizações como a OSHA (Occupational Safety and Health Administration) ou a NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) apresentam valores de referência para a exposição ao ruído, nomeadamente, no que se refere aos valores limites de exposição e de exposição a ruídos de pico.

De acordo com a norma da OSHA relativa à exposição ao ruído ocupacional, o valor limite de exposição, para um período de oito horas, é de 90 dB(A) e o valor de exposição limite a ruído de pico é de 140 dB. Esta norma especifica ainda, uma taxa de variação de 5 dB que pode ser traduzida por uma redução do período de exposição para metade, quando o nível de ruído aumenta 5 dB, isto é, por exemplo, se a exposição for de 95 dB(A) apenas pode ser consentida durante um período de quatro horas. A OSHA prevê a necessidade de um programa de controlo onde inclui a monitorização da exposição, programas de treino, informação dos utilizadores e testes médicos para quando a média, durante o período de oito horas, exceder os 85 dB(A). A NIOSH, por sua vez, recomenda um valor limite de exposição, para um período de oito horas, de 85 dB(A) e um valor de exposição limite a ruído de pico de 140 dB, sendo que a taxa de variação recomendada pela NIOSH corresponde a um valor de 3 dB.

Por outro lado, o decreto-lei nº96/2008 (RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios) estabelece requisitos para a melhoria da qualidade do ambiente acústico e para o bem-estar e saúde das populações. Este decreto-lei define os valores de isolamento sonoro e tempo de reverberação, entre outros parâmetros, exigidos nos edifícios em função dos usos a

que os mesmos se destinam. No entanto, pela sua especificidade, as carreiras de tiro não se encontram abrangidas pelo regulamento.

2.3.7 Medidas de mitigação

Como referido anteriormente, a exposição excessiva e prolongada ao ruído pode ter consequências prejudiciais para a saúde, sendo portanto necessário prever e adotar medidas para minimizar os riscos de exposição.

A utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's), tais como protetores auditivos externos (auscultadores) ou tampões de proteção (figura 2.13), são uma medida de proteção imprescindível para os utilizadores das carreiras de tiro, devendo ser usados, se possível, em conjunto. O anexo V do decreto-lei nº182/2006 de 6 de Setembro estabelece as principais indicações e orientações para a seleção de protetores auditivos.



Figura 2.13 – Protetores auditivos (à esquerda) e tampões (à direita) (Solutions 3M, 2015).

Pode-se recorrer a outras medidas (Ecochoice, 2013) para reduzir o ruído. A utilização de supressores nas armas, que reduz aproximadamente 30% do ruído de impulso resultante do disparo, e/ou a utilização de munições subsónicas que limitam o ruído ao som da detonação da pólvora, são algumas dessas alternativas. Apesar da atenuação do ruído conferida por estes equipamentos, continua a ser recomendado o uso de equipamentos de proteção individual auditiva (PIA).

A informação e formação aos utilizadores das carreiras de tiro é indispensável para uma adequada utilização do espaço, alertando para os perigos inerentes da prática de tiro e da utilização das carreiras de tiro, as práticas de segurança e meios disponíveis de proteção ou ainda a promoção de formações específicas e treinos especializados. Os utilizadores devem também ser sujeitos a inspeções médicas periódicas para conferir a funcionalidade auditiva, nomeadamente através de exames audiométricos.

2.4 Qualidade do ar

2.4.1 Contaminação por chumbo

2.4.1.1 Efeitos na saúde

A contaminação por chumbo (Basto, 2008) pode ocorrer por inalação, ingestão ou absorção cutânea de partículas de chumbo. O chumbo quando inalado através das vias respiratórias é distribuído pelos diferentes órgãos através da corrente sanguínea, sendo o restante expulso do organismo pelo sistema renal. No caso da ingestão, apenas 5-15% do chumbo é absorvido pelo trato gastrointestinal, sendo o restante excretado nas fezes. A absorção deste elemento no sistema gastrointestinal é favorecida quando o organismo apresenta um défice de ferro, cálcio e zinco.

A sua distribuição não é influenciada pela via de absorção e ao encontrar-se na corrente sanguínea pode ser distribuído em tecidos mineralizados e/ou em tecidos moles. O metal acumula-se maioritariamente nos glóbulos vermelhos, tecidos ósseo e dentário, fígado e rins.

Um dos sistemas que é mais sensível à toxicidade do metal é o sistema nervoso. Este pode sofrer alterações e provocar indiretamente distúrbios noutros sistemas, nomeadamente, no cardiovascular. A exposição prolongada ao chumbo leva a alterações nos sistemas hematopoético (anemia) e renal (nefropatia). O sistema gastrointestinal pode apresentar desconforto abdominal e o aparelho reprodutivo masculino também pode ser afetado. Quanto aos possíveis efeitos teratogénicos e carcinogénicos, não existem dados conclusivos. No entanto, o chumbo foi classificado como potencialmente cancerígeno no ser humano.

As consequências da admissão do chumbo são identificadas, sobretudo, a longo prazo, por causa da sua acumulação nos diferentes tecidos, levando a uma exposição continuada por causa da sua lenta eliminação, como se pode verificar pelos tempos de semivida que podem variar dos 20-40 dias (quando alojado nos tecidos moles) até aos 104 dias (no caso do tecido ósseo).

2.4.1.2 Fontes de contaminação

As munições (Basto, 2008) são a principal fonte de chumbo nas carreiras de tiro e são constituídas por quatro elementos básicos, conforme ilustra esquematicamente a figura 2.14: o estojo, a espoleta, o propelente e o projétil.



Figura 2.14 – Representação esquemática de uma munição (sindespe, 2015).

O estojo ou invólucro compreende todas as componentes (espoleta, propelente e projétil) de uma munição mantendo-as juntas numa única peça.

A espoleta é o elemento que contém a mistura detonante que faz deflagrar a carga propulsora. Esta mistura iniciadora é, normalmente, constituída por sais e nitratos metálicos muito sensíveis que ao entrarem em combustão geram calor que, por sua vez, é transmitido ao propelente através de pequenos orifícios.

O propelente ou carga propulsora é a fonte de energia que provoca a expelição do projétil. É constituído por um composto de pólvora que, ao queimar progressivamente, produz um elevado volume de gases, originando um aumento de pressão no interior do estojo, suficiente para impulsionar o projétil.

O projétil é o elemento que é lançado através do cano da arma. Este é composto, geralmente, por chumbo, podendo encontrar-se total ou parcialmente encamisado ou exposto na sua totalidade. Nas munições do tipo encamisado, a capa externa, designada por camisa é, usualmente, constituída por ligas de cobre e zinco.

Embora as munições sejam a principal fonte de chumbo, a contaminação só é possível caso exista contacto direto com este como acontece nas munições não encamisadas. Os processos que envolvem o disparo contribuem para a contaminação do ar e de todas as superfícies e dispositivos da carreira de tiro, expondo continuamente os seus utilizadores. Desses processos destacam-se a combustão do propelente e a expelição do projétil pelo cano da arma. O primeiro provoca a vaporização do chumbo do projétil através das elevadas temperaturas provenientes dos gases produzidos durante a combustão, ao passo que no

segundo, os gases propulsores e as partículas de chumbo não voláteis acompanham a expulsão do projétil pelo cano da arma, sendo projetados em todas as direções.

2.4.1.3 Necessidades de ventilação

O sistema de ventilação é um equipamento indispensável para o controlo da concentração de chumbo (gases e partículas) no interior das carreiras de tiro e, por consequência, para salvaguardar a saúde e bem-estar dos seus utilizadores.

Existem dois tipos de sistemas de ventilação (Basto, 2008): os sistemas fechados e os sistemas diretos. Os primeiros consistem num sistema em que ocorre recirculação do ar extraído (60% a 80% do ar), através da sua insuflação para o interior da carreira de tiro. Nos segundos, a circulação do ar no interior da carreira de tiro é efetuada através de ar que provem, exclusivamente, do exterior e que é reencaminhada igualmente para o exterior a quando da sua extração. Em ambos os sistemas de ventilação existe a necessidade de purificação do ar insuflado, sendo que, o sistema fechado deve apresentar um controlo mais rigoroso devido à reutilização de ar contaminado.

O sistema de insuflação é responsável pela formação de uma cortina de ar, uniformemente distribuído ao longo da carreira de tiro, que vai varrer continuamente, de forma a evitar o retorno de ar contaminado, os gases e partículas de chumbo resultantes dos sucessivos disparos. Porém, este processo deve ocorrer sem interferir na segurança (trajetória dos projéteis) ou conforto dos atiradores (ruído ou temperatura). Assim, a insuflação deve ser controlada, devendo os fluxos de ar ao longo da linha de tiro ser superior a 0,254 m/s, para uma suficiente circulação de ar, e não ultrapassar os 0,381 m/s, para não ocorrer recirculação do ar resultante da passagem do escoamento a regime turbulento.

O sistema de extração é responsável pela saída do ar contaminado para o exterior das instalações, sendo que este deve ser feito nas proximidades do dispositivo de desenfiamento ou por detrás dele e, preferencialmente, próximo do teto, de forma a evitar o recirculação do ar. O fluxo de extração deve ser superior ao fluxo de insuflação para que a pressão existente no interior da carreira de tiro seja negativa, prevenindo assim a saída de ar contaminado para o exterior. O ar extraído deve ser totalmente filtrado, sendo os filtros periodicamente removidos e tratados como lixo tóxico.

O sistema de ventilação deve ser autónomo e exclusivamente destinado à zona de tiro, enquanto os sistemas de insuflação e de extração devem ser interdependentes, isto é, ambos devem funcionar em simultâneo e nunca individualmente. Por fim, o sistema de ventilação

deve ser equipado de um sistema de controlo de segurança que deteta e alerta possíveis avarias.

2.4.1.4 Regulamentação e recomendações

O decreto-lei nº24/2012 estabelece os requisitos mínimos relativos à proteção dos trabalhadores contra os riscos resultantes da exposição a agentes químicos. Este diploma apresenta o valor limite de exposição e o valor limite biológico do chumbo e respetivos compostos iónicos.

De acordo com o presente diploma, o valor limite de exposição, relativamente a um período de referência de oito horas (média ponderada em função do tempo), é de $0,15 \text{ mg/m}^3$ de ar. O valor limite biológico do chumbo e respetivos compostos iónicos é de $70 \text{ } \mu\text{g Pb/100 ml}$ de sangue.

Nos EUA, à semelhança do que acontece com a exposição ao ruído, a OSHA (Occupational Safety and Health Administration) e a NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) apresentam valores de referência para a exposição ao chumbo e respetivos compostos iónicos.

De acordo com a norma da OSHA relativa à exposição ao chumbo em ambiente ocupacional, o valor limite de exposição é de $0,03 \text{ mg/m}^3$ de ar, para um período de referência de oito horas. O valor limite biológico de chumbo e respetivos compostos iónicos corresponde a $50 \text{ } \mu\text{g Pb/100 ml}$ de sangue, para igual período. A NIOSH por sua vez, recomenda valores de limite de exposição e limite biológico de $0,05 \text{ mg/m}^3$ de ar e $60 \text{ } \mu\text{g Pb/100 ml}$ de sangue, respetivamente, tendo em conta um período de referência de oito horas.

2.4.1.5 Medidas de mitigação

Os perigos de contaminação por chumbo não se limitam à libertação de gases e partículas contendo esse elemento, mas também à limpeza das armas e da própria carreira de tiro, incluindo o dispositivo para-balas. Assim, as medidas preventivas devem salvaguardar a saúde, tanto dos seus utilizadores, como dos elementos responsáveis pela descontaminação da carreira de tiro.

Para além de uma adequada ventilação, é necessário garantir o uso de equipamentos de proteção individual (EPI's), tais como óculos de proteção. Os elementos responsáveis pela limpeza e descontaminação devem também utilizar proteção respiratória, roupa exterior de proteção integral e luvas resistentes a químicos.

As munições (Ecochoice, 2013), por serem as principais fontes de contaminação, podem ser substituídas por alternativas que reduzem ou eliminam os riscos de exposição. As balas com chumbo encamisado, que reduz em pelo menos 80% a emissão de chumbo nas carreiras de tiro, ou balas de borracha, plástico ou cera (figura 2.15), são algumas dessas alternativas.



Figura 2.15 – Exemplo de munição alternativa (balas de borracha e balas de cera) (Ecochoice, 2013).

Existem ainda regras de boas práticas que devem ser seguidas para evitar os riscos de contágio. São exemplos dessas regras a não ingestão de alimentos ou bebidas no interior das carreiras de tiro, a lavagem das mãos, braços e rosto (idealmente a toma de um duche) antes de sair das instalações ou o uso de vestuário e calçado destinado exclusivamente para a prática de tiro, entre outras.

A recolha dos resíduos alojados no dispositivo de desenfiamento deve ser efetuada periodicamente, consoante o nível de atividade da carreira de tiro, e armazenado, temporariamente, em local apropriado até ser recolhido por operadores de resíduos específicos.

Também é recomendado que sejam efetuadas, esporadicamente, amostragens de forma a avaliar os níveis de concentração de chumbo existentes no interior das instalações. O decreto-lei n.º 24/2012 estipula que devem ser efetuadas amostragens pelo menos de três em três meses, podendo ser reduzidas a uma vez por ano quando não ocorram alterações significativas nos processos de trabalho ou nas condições dos locais de trabalho e desde que se verifique uma exposição inferior a $0,1 \text{ mg/m}^3$ nas duas últimas avaliações ou que a taxa individual de plumbémia (concentração de chumbo no sangue) em qualquer trabalhador exposto não ultrapasse os $60 \text{ } \mu\text{g Pb}/100 \text{ ml}$ de sangue.

A informação e formação aos utilizadores e funcionários das carreiras de tiro são fundamental a uma adequada utilização do espaço, alertando para os riscos de contaminação associados à prática de tiro e à utilização das carreiras de tiro, as práticas de segurança e de higiene, os meios disponíveis de proteção, os procedimentos de limpeza ou ainda a promoção de formações específicas e treinos especializados. Os utilizadores e funcionários devem também ser sujeitos a inspeções médicas periódicas para conferir o seu estado de saúde.

3 ESTUDO DE CASO – ABORDAGEM EXPERIMENTAL

3.1 Introdução

Neste capítulo será apresentada a metodologia adotada no estudo de caso deste trabalho.

Este estudo foi realizado com o intuito de averiguar a qualidade acústica da carreira de tiro, através de medições do tempo de reverberação, isolamento sonoro e níveis sonoros, bem como avaliar a qualidade do ar no que respeita a alguns contaminantes como o chumbo.

Assim, ao longo deste capítulo é descrita a carreira de tiro e são apresentados os procedimentos metodológicos e equipamentos utilizados neste estudo.

3.2 Descrição do espaço em estudo

O estudo de caso remete-se para uma carreira de tiro situada em território nacional. Como existe informação confidencial, fotografias, imagens e algumas descrições que poderiam fornecer mais detalhes sobre o trabalho tiveram de ser omitidas.

A carreira de tiro tem dimensões em planta de cerca de 25 m de comprimento e 15 m de largura e um volume de 1107.3 m³.

De seguida, apresenta-se a descrição de alguns elementos relevantes para o controlo de ruído e de exposição ao chumbo, nomeadamente, os materiais de revestimento utilizados, o sistema de ventilação e os dispositivos de desenfiumento.

Revestimentos

O pavimento é revestido por ladrilhos de borracha de poros abertos, com dimensões 500x500 mm e com tratamento superficial composto por tapa poros, capa autonivelante e pintura de poliuretano (cor verde). A aplicação desta camada superficial tem como finalidade garantir um acabamento sem juntas, de forma a facilitar as operações de limpeza.

As paredes são revestidas por ladrilhos de caucho ondulado (figura 3.1), com dimensões 1000x500x32/47 mm, assentes diretamente sobre uma estrutura de madeira (pinho) cuja retícula é preenchida com lã de rocha, com 40 mm de espessura, assente sobre um revestimento de chapa de aço.



Figura 3.1 – Revestimento: ladrilhos de caucho ondulado.

Quanto ao teto é um “teto falso” acústico, do tipo “dente de serra” apoiado numa estrutura metálica em perfis do tipo UNP. À semelhança das paredes, o revestimento do teto é composto por ladrilhos de caucho ondulado, com dimensões 1000x500x16/32 mm, assente em lã de rocha e aglomerado de madeira com espessuras de 40 mm e 19 mm, respetivamente.

Por fim, as portas de acesso à carreira de tiro são revestidas com borracha na face interior, e quando a porta está fechada este revestimento fica ao nível do plano da parede, constituindo uma superfície contínua. O envidraçado que permite a visibilidade da sala de comando de tiro e do auditório para a zona de tiro é constituído por uma caixilharia em aço e por um vidro (incolor) à prova de bala, colocado com uma inclinação vertical de 78°.

Sistema de ventilação

A carreira de tiro está equipada com um sistema de ventilação do tipo 100% de ar-novo sem recirculação. A insuflação de ar para o interior é efetuada junto à entrada de acesso à carreira de tiro, através de difusores de placas microperfuradas, enquanto a extração é assegurada na extremidade oposta, junto da zona de impacto dos projéteis, por ventiladores ligados a condutas equipadas com módulos de filtragem e com grelhas lineares colocadas ao nível alto.

Desta forma, o ar insuflado garante o varrimento contínuo e uniforme (escoamento unidirecional) da carreira de tiro, no sentido longitudinal. A insuflação é efetuada a baixas velocidades, aproximadamente 0,3 m/s, considerando uma velocidade uniforme sobre a área total de insuflação ($A = 38 \text{ m}^2$), para garantir o conforto e segurança dos seus ocupantes. O caudal de insuflação e de extração de ar é de 10,89 m³/s.

O sistema de ventilação é autónomo e exclusivamente destinado à zona de tiro, estando o sistema de insuflação e de extração, obrigatoriamente, em funcionamento simultâneo.

Dispositivo de desenfiamento

A captação frontal dos projéteis é efetuada por um sistema de para-balas com barreira de ar. O sistema possui rampas de deflexão com ângulos reduzidos (12° a 15°) que encaminham os projéteis para a câmara circular de desaceleração, onde vão perdendo energia gradualmente, devido ao movimento giratório que exercem no seu interior, até caírem numa ranhura no fundo da câmara que os direciona para o transportador. Seguidamente, são conduzidos através de uma rosca “sem fim” para um recipiente onde são armazenados, temporariamente, até serem recolhidos por operadores de resíduos especializados.

Por sua vez, as partículas de chumbo presentes no ar são impedidas de entrar na câmara de desaceleração por uma barreira de ar formada pela pressão positiva existente no sistema, sendo encaminhadas por condutas de exaustão até ao sistema de tratamento de ar. Este é constituído por filtros que permitem reciclar o ar, retendo as partículas. Como o sistema usufrui de um circuito fechado, este permite a reintegração do ar filtrado por condutas de insuflação que têm um papel preponderante para evitar o retorno do ar contaminado para a carreira de tiro, o que poderia acontecer ao colidir na barreira de ar.

As captações laterais (esquerda e direita), até à distância dos 12 m, são efetuadas através de um sistema composto por cortina anti fragmentos de borracha, colocadas em lâminas sobrepostas com 4 mm de espessura, placas em lamela dupla fileira com 8-12 mm de espessura e chapas de fundo de proteção e paragem de projéteis em aço. A recolha dos projéteis é efetuada através de uma rampa no pavimento.

3.3 Medição de tempos de reverberação

O tempo de reverberação foi obtido através de ensaios realizados *in situ*, de acordo com a norma NP EN ISO 3382-2:2011 que especifica, entre outros, os métodos e procedimentos de medição. Segundo esta norma existem dois métodos de medição do tempo de reverberação: o método do ruído interrompido e o método da resposta impulsiva integrada. Neste estudo foi utilizado o método do ruído interrompido que se baseia na obtenção de curvas de decaimento, através do registo direto do decaimento do nível de pressão sonora, após a excitação do compartimento por uma fonte de ruído.

Os ensaios de medição do tempo de reverberação seguiram, resumidamente, o seguinte procedimento: avaliação e definição do número de posições da fonte sonora e do sonómetro

em função das dimensões do compartimento a caracterizar; medição da temperatura e humidade relativa do ar; medição do tempo de reverberação para cada posição da fonte sonora e do sonómetro, sendo necessário fazer, pelo menos, três medições para cada combinação fonte/sonómetro.

Assim, de acordo com o procedimento descrito e considerando o volume da carreira de tiro, as medições foram efetuadas para quatro posições da fonte sonora, medições essas realizadas em doze pontos, com avaliação de três decaimentos em cada ponto.

Para a realização das medições do tempo de reverberação foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Sonómetro integrador do tipo 2260, com microfone tipo 4189, da marca "Bruel & Kjaer" (figura 3.2 a));
- Calibrador de sonómetro, do tipo 4231, da marca "Bruel & Kjaer";
- Fonte de ruídos aéreos omnidirecional, do tipo OMNIPOWER 4292, da marca "Bruel & Kjaer" (figura 3.2 b)).



a)



b)

Figura 3.2 – a) Sonómetro; b) Fonte de ruídos aéreos omnidirecional.

3.4 Medição de isolamento sonoro

O isolamento sonoro, como foi dito no subcapítulo 2.3.5, refere-se à capacidade de um elemento de construção impedir a passagem da energia sonora para os compartimentos contíguos. Este depende, essencialmente, do comportamento dos elementos envolventes em cada compartimento e do campo sonoro gerado no compartimento emissor.

O isolamento sonoro de um determinado elemento de separação não deve ser obtido diretamente pela diferença entre os níveis de pressão dos dois compartimentos adjacentes, devendo ter em consideração os fenómenos de reverberação existentes no compartimento recetor, como podemos constatar no capítulo 4.

O isolamento sonoro foi obtido através de ensaios realizados *in situ*, de acordo com a norma NP EN ISO 104-4:2009 que especifica, os métodos e procedimentos de medição. Os ensaios de medição seguiram, resumidamente, o seguinte procedimento: medição dos níveis sonoros no compartimento emissor e no compartimento recetor, tendo sido efetuados registos para duas posições da fonte sonora no compartimento emissor e cinco posições do sonómetro para cada um dos compartimentos; medição do ruído de fundo no compartimento recetor para as mesmas cinco posições do sonómetro; medição dos tempos de reverberação no compartimento recetor para uma posição da fonte sonora (colocado no compartimento recetor) e três posições do sonómetro, tendo sido feitas duas medições para cada combinação fonte/sonómetro.

Para a determinação do isolamento a sons aéreos, os equipamentos utilizados foram os descritos anteriormente, no subcapítulo 3.3.

3.5 Medição de níveis sonoros

Os níveis sonoros foram obtidos através de ensaios realizados *in situ* durante o funcionamento da carreira de tiro. Esses níveis foram registados numa sala de descanso situada junto de gabinetes de trabalho e na própria carreira de tiro.

Para a determinação dos níveis sonoros, os equipamentos utilizados foram os descritos anteriormente, no subcapítulo 3.3, à exceção da fonte de ruídos aéreos omnidirecional, uma vez que o objetivo deste ensaio era conferir os níveis sonoros provocados pelos disparos das armas.

Este ensaio teve como objetivo tentar perceber como é que o ruído gerado na carreira de tiro afeta os trabalhadores que estão em zonas que requerem alguma concentração (zona de gabinetes de trabalho/descanso) e os utilizadores da carreira de tiro.

3.6 Caracterização da qualidade do ar

A qualidade do ar avalia o nível de poluição atmosférico através das características químicas, físicas e biológicas do ar. A alteração da composição natural do ar pode levar a elevados níveis de contaminação que podem afetar a saúde e bem-estar das populações, o ambiente ou

ainda o património construído. Esta poluição pode ocorrer pela introdução de contaminantes no ar, dos quais se destacam os compostos orgânicos (compostos químicos que contêm ligações carbono-hidrogénio), os compostos inorgânicos (compostos químicos que não contêm ligações carbono-hidrogénio) e os compostos biológicos (micróbios ou microrganismos).

Em espaços interiores, a qualidade do ar torna-se de elevada importância, uma vez que os seus ocupantes se encontram diretamente expostos aos contaminantes, devido ao confinamento do espaço, podendo ter que permanecer aí durante largos períodos de tempo. A qualidade do ar em espaços interiores depende essencialmente de três fatores: a emissão de poluentes no interior dos edifícios, a infiltração de poluentes do ar exterior e a acumulação de poluentes no interior dos edifícios devido a ventilação deficitária e baixa renovação de ar. Por se tratar de um assunto de saúde pública, encontra-se devidamente regulamentado no âmbito do sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior em edifícios. No entanto, a contaminação do ar numa carreira de tiro, não se rege pelos diplomas aplicados aos edifícios comuns, devido à especificação dos contaminantes.

A qualidade do ar foi avaliada através de ensaios realizados em laboratório sobre amostras recolhidas *in situ*. O procedimento de amostragem, pré-tratamento e ensaio utilizado na determinação de metais pesados presentes nas amostras de ar seguiu as indicações da Norma NIOSH 7300.

Para a recolha das amostras de ar foram usados:

- Bombas de Amostragem do tipo AirCheck 3000, da marca “SKC” (figura 3.3);
- Filtros (membrana de éster de celulose) de 0.8 μ m (figura 3.3);
- Calibrador do tipo Defender 520, da marca Mesalabs.



Figura 3.3 – Bomba de amostragem e filtro.

As bombas foram calibradas no local, imediatamente antes de iniciar a operação de amostragem, e a calibração foi verificada imediatamente após concluir a operação. A amostragem foi realizada em quatro pontos: ao nível do solo, junto à linha de 15 m, lado direito da sala; ao nível do solo, junto à linha de 15 m, lado esquerdo da sala; ao nível do peito de um atirador; e ao nível do peito de outro atirador. O volume amostrado foi de aproximadamente 270 L (fluxo de recolha de ≈ 3000 ml/min, período de ≈ 90 min).

No laboratório, os filtros contendo as partículas recolhidas no ar amostrado foram digeridos numa solução ácida (mistura de ácido nítrico e ácido perclórico) e analisados com recurso a um espectrómetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (Perkin Elmer, Optima 8000).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios realizados e respetiva análise.

Assim, ao longo deste capítulo são expostos os resultados obtidos dos ensaios acústicos, do tempo de reverberação, do isolamento sonoro e dos níveis sonoros, bem como os resultados dos ensaios da qualidade do ar, com a descrição dos procedimentos de cálculo para cada ensaio.

A análise qualitativa/quantitativa dos resultados e/ou verificação regulamentar de alguns parâmetros também serão abordados neste capítulo.

4.2 Apresentação dos resultados

4.2.1 Tempos de reverberação

Para a determinação do tempo de reverberação, tendo em conta o volume relativamente elevado da carreira de tiro (1107.3 m^3), as medições foram efetuadas para quatro posições da fonte sonora, sendo as medições realizadas em doze pontos, avaliando-se três decaimentos em cada ponto.

No quadro 4.1 são apresentados os valores médios dos tempos de reverberação, em bandas de oitava, resultantes das medições.

Quadro 4.1 – Tempos de reverberação.

| Frequência (Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Tr</i> (s) | 1.32 | 1.08 | 0.98 | 0.73 | 0.60 | 0.55 |

De forma a poder avaliar o cumprimento dos requisitos acústicos estabelecidos para espaços em edifícios de acordo com o decreto-lei nº96/2008 (RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos em Edifícios) é efetuada a média dos tempos de reverberação correspondentes às bandas de frequências 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

$$T = \frac{Tr_{500 \text{ Hz}} + Tr_{1000 \text{ Hz}} + Tr_{2000 \text{ Hz}}}{3} = 0.77 \quad (1)$$

No entanto, esta avaliação só poderá ser comparativa, uma vez que as carreiras de tiro não são contempladas pelo referido regulamento.

4.2.2 Isolamento sonoro

A determinação do isolamento sonoro foi efetuado entre dois compartimentos verticalmente contíguos, sendo o compartimento emissor a carreira de tiro situada no piso -2 e o compartimento recetor uma sala de descanso situada no piso -1, junto a uma zona de gabinetes, por cima da zona de acesso à carreira de tiro. A volumetria dos compartimentos é de aproximadamente 1100 m³ e 35 m³, respetivamente. Na figura 4.1 apresenta-se um esquema representativo da vista em planta do compartimento recetor.



Figura 4.1 – Esquema representativo da sala de descanso: Vista em planta.

Para a determinação do isolamento sonoro a sons aéreos entre dois compartimentos é necessário medir os níveis sonoros em cada um dos compartimentos e o ruído de fundo e os tempos de reverberação no compartimento recetor.

Assim, foram efetuadas dez medições do nível sonoro para cada banda de frequência na carreira de tiro, sendo o nível sonoro (valor médio) neste compartimento obtido através da seguinte expressão:

$$L_1 = 10 \log \left[\frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^{10} 10^{0.1L_i} \right) \right] \quad (2)$$

No quadro 4.2 é apresentado o valor do nível sonoro médio para cada banda de frequência no compartimento emissor, L_l .

Quadro 4.2 – Nível sonoro médio no compartimento emissor.

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| L_l (dB) | 84.9 | 91.0 | 90.3 | 89.1 | 86.3 | 86.9 | 86.2 | 84.5 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| L_l (dB) | 82.3 | 80.6 | 79.3 | 80.4 | 79.5 | 79.5 | 80.3 | 82.6 |

De igual forma, foram efetuadas dez medições do nível sonoro para cada banda de frequência na sala de descanso, sendo o nível sonoro (valor médio) neste compartimento obtido através da expressão seguinte:

$$L_{sb} = 10 \log \left[\frac{1}{10} \left(\sum_{i=1}^{10} 10^{0.1L_i} \right) \right] \quad (3)$$

No quadro 4.3 é apresentado o valor do nível sonoro médio para cada banda de frequência no compartimento recetor, L_{sb} .

Quadro 4.3 – Nível sonoro médio no compartimento recetor.

| | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| L_{sb} (dB) | 33.8 | 42.1 | 41.2 | 35.0 | 33.1 | 25.6 | 21.8 | 20.2 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| L_{sb} (dB) | 19.4 | 20.4 | 17.9 | 18.0 | 17.0 | 9.6 | 10.9 | 8.7 |

Para o nível sonoro do ruído de fundo no compartimento recetor foram efetuadas cinco medições do nível sonoro para cada banda de frequência, sendo o nível sonoro (valor médio) obtido através seguinte expressão:

$$L_b = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 10^{0.1L_i} \right) \right] \quad (4)$$

No quadro 4.4 é apresentado o valor do nível sonoro médio do ruído de fundo para cada banda de frequência no compartimento recetor, L_b .

Quadro 4.4 – Nível sonoro médio do ruído de fundo no compartimento recetor.

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| L_b (dB) | 25.4 | 21.2 | 21.5 | 21.4 | 17.5 | 17.7 | 16.7 | 16.7 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| L_b (dB) | 19.1 | 20.9 | 17.2 | 17.6 | 16.5 | 9.3 | 11.2 | 7.7 |

De modo a realizar a correção do nível sonoro no compartimento recetor é necessário fazer a análise das seguintes condições:

$$\begin{cases} L_2 = L_{sb} - 1.3 \\ L_2 = 10 \log(10^{0.1L_{sb}} - 10^{0.1L_b}) \\ L_2 = L_{sb} \end{cases} \quad \begin{cases} se & L_{sb} - L_b \leq 6 \\ se & 6 < L_{sb} - L_b < 10 \\ se & L_{sb} - L_b \geq 10 \end{cases} \quad (5)$$

Esta correção do ruído de fundo tem como finalidade assegurar que as medições realizadas no compartimento recetor não sejam afetadas por ruídos perturbadores externos ao ensaio.

No quadro 4.5 é apresentado o valor do nível sonoro médio corrigido para cada banda de frequência no compartimento recetor, L_2 .

Quadro 4.5 – Nível sonoro médio corrigido no compartimento recetor.

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| L_2 (dB) | 33.1 | 42.1 | 41.2 | 35.0 | 33.1 | 24.9 | 20.5 | 18.9 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| L_2 (dB) | 18.1 | 19.1 | 16.6 | 16.7 | 15.7 | 8.3 | 9.6 | 7.4 |

Para a determinação do tempo de reverberação, tendo em conta o volume relativamente baixo da sala de descanso (35.1 m^3), as medições foram efetuadas para uma posição da fonte sonora, sendo as medições realizadas em três pontos, avaliando-se dois decaimentos em cada ponto.

No quadro 4.6 são apresentados os valores dos tempos de reverberação resultantes das medições para cada banda de frequência.

Quadro 4.6 – Tempos de reverberação no compartimento recetor.

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| T_r (s) | 0.58 | 0.69 | 0.79 | 0.74 | 0.83 | 0.77 | 0.67 | 0.63 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| T_r (s) | 0.61 | 0.72 | 0.65 | 0.75 | 0.71 | 0.78 | 0.68 | 0.67 |

Calcula-se o isolamento sonoro padronizado, D_{nT} , em decibéis, corrigido com o tempo de reverberação do compartimento recetor através da expressão seguinte:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T_r}{T_0} \quad (6)$$

Sendo que, T_r é o tempo de reverberação no compartimento recetor e T_0 é o tempo de reverberação de referência ($T_0 = 0.5$ s).

No quadro 4.7 são apresentados os valores do isolamento sonoro padronizado.

Quadro 4.7 – Isolamento sonoro padronizado.

| | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| D_{nT} (dB) | 52.4 | 50.3 | 51.1 | 55.8 | 55.4 | 63.9 | 67.0 | 66.6 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| D_{nT} (dB) | 65.1 | 63.1 | 63.8 | 65.5 | 65.4 | 73.1 | 72.0 | 76.5 |

Para determinar o índice de isolamento sonoro, os valores obtidos das medições são comparados com os valores de referência para sons de condução aérea indicados na norma NP ISO 717-1:2009 e transcritos no quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Valores de referência para sons de condução aérea.

| | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| Ref. (dB) | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 | 51 | 52 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| Ref. (dB) | 53 | 54 | 55 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |

A curva respetiva apresenta-se na figura 4.2.

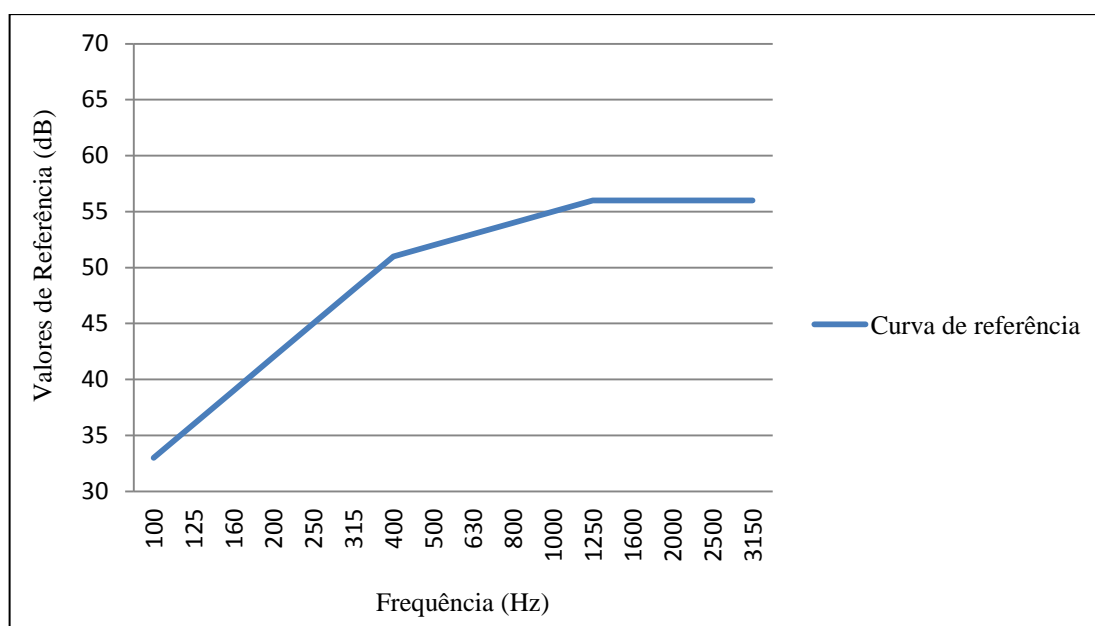


Figura 4.2 – Curva de valores de referência para sons de condução aérea.

Segundo a norma NP EN ISO 717-1:2009, para a determinação do índice de isolamento sonoro a partir dos resultados de uma medição é necessário proceder ao ajustamento da curva de referência, por patamares de 1 dB, relativamente à curva dos valores medidos, para que o somatório dos desvios desfavoráveis seja o maior possível, mas não superior a 32 dB para medições em dezasseis bandas de terços de oitava. Note-se que entende-se por desvio desfavorável aquele que ocorre quando o valor medido é inferior ao valor de referência.

Nos quadros 4.9 e 4.10 apresenta-se o procedimento de ajuste da curva de referência.

Quadro 4.9 – Ajuste da curva de referência.

| | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| D_{nT} (dB) | 52.4 | 50.3 | 51.1 | 55.8 | 55.4 | 63.9 | 67.0 | 66.6 |
| Ref. (dB) | X+33 | X+36 | X+39 | X+42 | X+45 | X+48 | X+51 | X+52 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| D_{nT} (dB) | 65.1 | 63.1 | 63.8 | 65.5 | 65.4 | 73.1 | 72.0 | 76.5 |
| Ref. (dB) | X+53 | X+54 | X+55 | X+56 | X+56 | X+56 | X+56 | X+56 |

Quadro 4.10 – Processo iterativo de ajuste da curva de referência.

| Freq. (Hz) | X=10 | Δ | X=12 | Δ | X=14 | Δ | X=15 | Δ |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 100 | 43 | - | 45 | - | 47 | - | 48 | - |
| 125 | 46 | - | 48 | - | 50 | - | 51 | 0.7 |
| 160 | 49 | - | 51 | - | 53 | 1.9 | 54 | 2.9 |
| 200 | 52 | - | 54 | - | 56 | 0.2 | 57 | 1.2 |
| 250 | 55 | - | 57 | 1.6 | 59 | 3.6 | 60 | 4.6 |
| 315 | 58 | - | 60 | - | 62 | - | 63 | - |
| 400 | 61 | - | 63 | - | 65 | - | 66 | - |
| 500 | 62 | | 64 | - | 66 | - | 67 | 0.4 |
| 630 | 63 | - | 65 | - | 67 | 1.9 | 68 | 2.9 |
| 800 | 64 | 0.9 | 66 | 2.9 | 68 | 4.9 | 69 | 5.9 |
| 1000 | 65 | 1.2 | 67 | 3.2 | 69 | 5.2 | 70 | 6.2 |
| 1250 | 66 | 0.5 | 68 | 2.5 | 70 | 4.5 | 71 | 5.5 |
| 1600 | 66 | 0.6 | 68 | 2.6 | 70 | 4.6 | 71 | 5.6 |
| 2000 | 66 | - | 68 | - | 70 | - | 71 | - |
| 2500 | 66 | - | 68 | - | 70 | - | 71 | - |
| 3150 | 66 | - | 68 | - | 70 | - | 71 | - |
| | Σ | 3.2 | Σ | 12.8 | Σ | 26.9 | Σ | 35.9 |

Como é possível verificar do quadro anterior, o ajuste da curva de referência relativamente à curva dos valores medidos acontece com a soma de 14 dB aos valores de referência, assim o somatório dos desvios desfavoráveis apresenta o valor de 26.9 dB < 32 dB. No quadro 4.11 apresentam-se os valores de referência ajustados.

Quadro 4.11 – Valores de referência ajustados.

| | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| Ref. (dB) | 47 | 50 | 53 | 56 | 59 | 62 | 65 | 66 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| Ref. (dB) | 67 | 68 | 69 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |

Por sua vez, a figura 4.3 ilustra graficamente o resultado do ajustamento, sendo que a curva azul corresponde à curva de referência ajustada e a curva vermelha, a curva dos valores de isolamento sonoro padronizado.

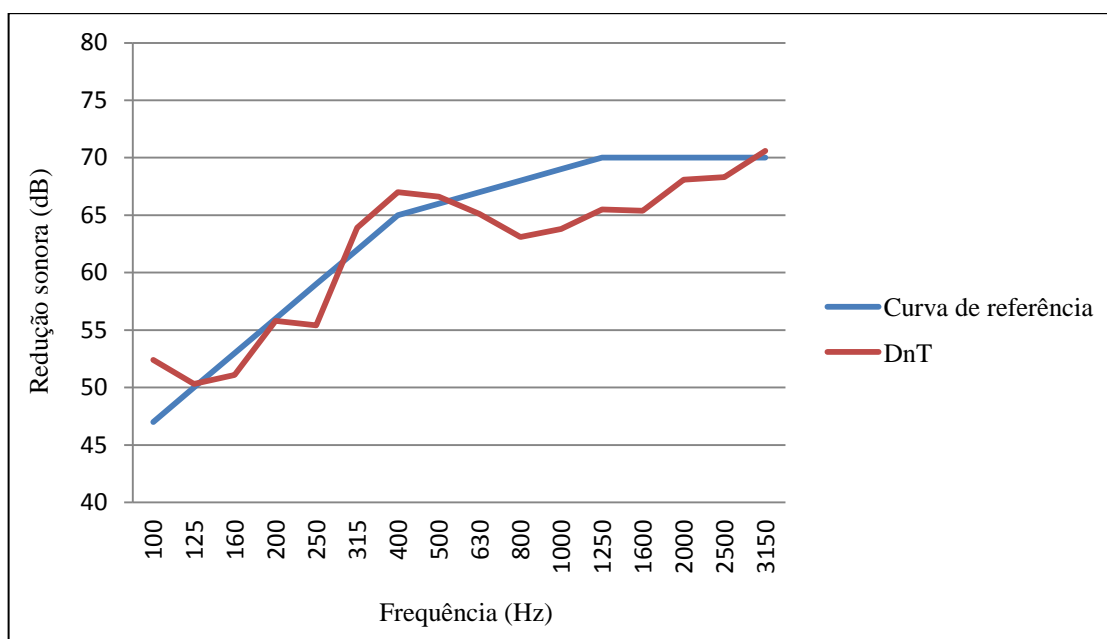


Figura 4.3 – Sobreposição da curva de referência ajustada com a curva D_{nT} .

Após o ajuste, o índice de isolamento sonoro corresponde ao valor da ordenada da curva de referência para a frequência de 500 Hz. Assim, verifica-se que $D_{nT,w}$ apresenta o valor de 66 dB.

Em geral, o índice de isolamento sonoro apresenta-se na forma $D_{nT,w}(C, C_{tr})$, sendo C e C_{tr} os termos de adaptação espectral obtidos através do espectro de ruído rosa (espectro 1) e do espectro de ruído de tráfego (espectro 2), respetivamente, especificados na norma NP ISO 717-1:20013.

No quadro 4.12 apresentam-se os níveis de pressão sonora de distribuição espectrais para o cálculo dos termos de adaptação.

Quadro 4.12 – Espectros para o cálculo dos termos de adaptação espectral.

| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| R. Rosa (dB(A)) | -29 | -26 | -23 | -21 | -19 | -17 | -15 | -13 |
| R. Tráfego (dB(A)) | -20 | -20 | -18 | -16 | -15 | -14 | -13 | -12 |

| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
|--------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| R. Rosa (dB(A)) | -12 | -11 | -10 | -9 | -9 | -9 | -9 | -9 |
| R. Tráfego (dB(A)) | -11 | -9 | -8 | -9 | -10 | -11 | -13 | -15 |

As curvas respetivas apresentam-se na figura 4.4.

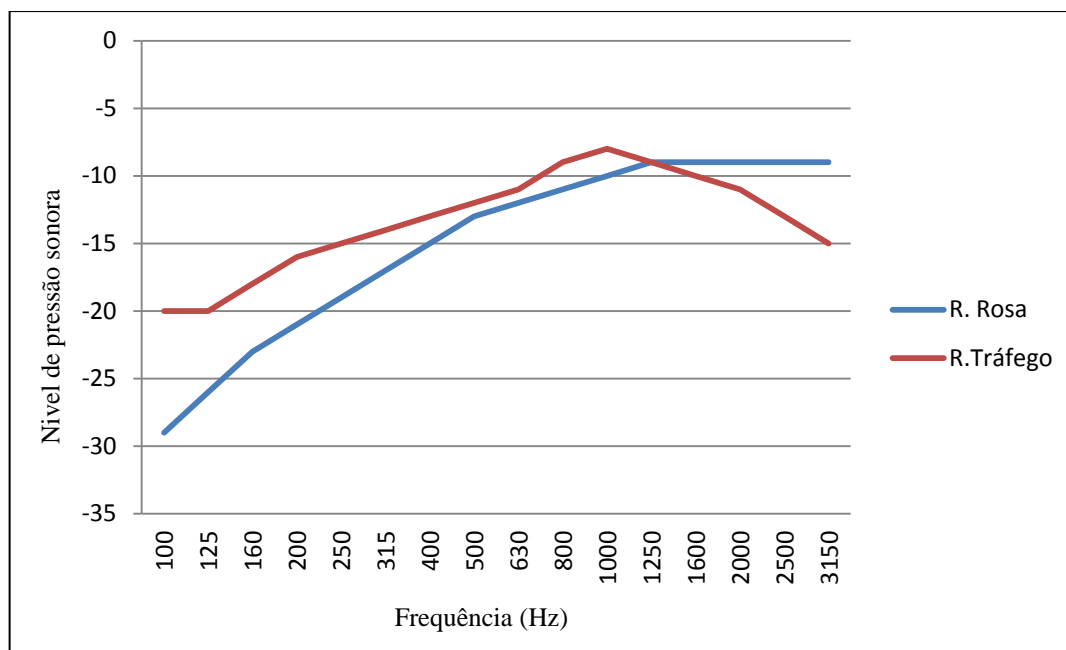


Figura 4.4 – Espectros para o cálculo dos termos de adaptação espectral.

Os termos de adaptação espectral, C_j , em decibéis, devem ser calculados usando os espectros indicados anteriormente, através da seguinte expressão:

$$C_j = X_{Aj} - X_w \quad (7)$$

Sendo que, j é o índice de identificação do espectro 1 ou 2, X_w é o índice de isolamento sonoro padronizado e X_{Aj} é calculado através da expressão:

$$X_{Aj} = -10 \log \sum 10^{\left(\frac{L_{ij} - X_i}{10}\right)} \quad (8)$$

Em que, i é o índice para bandas de frequência de um terço de oitava de 100 Hz a 3150 Hz, L_{ij} os níveis de pressão sonora para bandas de frequência i e espectros j e X_i o valor de D_{nT} para a banda de frequência i , aproximada a uma casa decimal.

O quadro 4.13 apresenta os parâmetros X_i e L_{i1} utilizados para o cálculo dos termos de adaptação espectral C .

Quadro 4.13 – Cálculo do termo de adaptação espectral C através do espectro de ruído rosa (espectro 1).

| | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| X_i (dB) | 52.4 | 50.3 | 51.1 | 55.8 | 55.4 | 63.9 | 67.0 | 66.6 |
| L_{i1} (dB) | -29 | -26 | -23 | -21 | -19 | -17 | -15 | -13 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| X_i (dB) | 65.1 | 63.1 | 63.8 | 65.5 | 65.4 | 73.1 | 72.0 | 76.5 |
| L_{i1} (dB) | -12 | -11 | -10 | -9 | -9 | -9 | -9 | -9 |

De onde resulta que,

$$X_{A1} = -10 \log \sum 10^{\left(\frac{L_{i1}-X_i}{10}\right)} = 64.3 \text{ dB}$$

Assim, o termo de adaptação do espectro de ruído rosa (espectro 1) é igual a:

$$C_1 = X_{A1} - X_W = 64.3 - 66 = -1.7 \approx -2$$

O quadro 4.14 apresenta os parâmetros X_i e L_{i2} utilizados para o cálculo dos termos de adaptação espectral C_{tr} .

Quadro 4.14 - Cálculo do termo de adaptação espectral C_{tr} através do espectro de ruído de tráfego (espectro 2).

| | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Freq. (Hz) | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| X_i (dB) | 52.4 | 50.3 | 51.1 | 55.8 | 55.4 | 63.9 | 67.0 | 66.6 |
| L_{i2} (dB) | -20 | -20 | -18 | -16 | -15 | -14 | -13 | -12 |
| Freq. (Hz) | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| X_i (dB) | 65.1 | 63.1 | 63.8 | 65.5 | 65.4 | 73.1 | 72.0 | 76.5 |
| L_{i2} (dB) | -11 | -9 | -8 | -9 | -10 | -11 | -13 | -15 |

De onde resulta que:

$$X_{A2} = -10 \log \sum 10^{\left(\frac{L_{i2} - X_i}{10}\right)} = 61.5 \text{ dB}$$

Assim, o termo de adaptação do espectro de ruído de tráfego (espectro 2) é igual a:

$$C_2 = X_{A2} - X_W = 61.5 - 66 = -4,5 \approx -5$$

Logo, o índice de isolamento sonoro a sons aéreos é de $D_{nT,w}(C, C_{tr}) = 66 (-2; -5)$ dB.

4.2.3 Níveis sonoros

Para determinar os níveis sonoros na carreira de tiro e nos espaços que lhe são contíguos, aquando do seu funcionamento, contou-se com seis atiradores para a prática de tiro e um instrutor, responsável pelo controlo logístico da carreira de tiro. Todos os elementos estavam devidamente protegidos com equipamentos de proteção individual, nomeadamente, óculos de proteção e protetores auditivos. As armas utilizadas foram ao encontro daquilo que é espectável que seja usualmente utilizado na carreira de tiro, durante o seu normal funcionamento.

As medições foram efetuadas de forma a avaliar os níveis sonoros a que estão expostos os utilizadores da carreira de tiro, como também as pessoas que trabalham nos locais adjacentes. Para isso, foram efetuadas medições na carreira de tiro e na sala de descanso que foi utilizada para as medições do isolamento sonoro, uma vez que esta se situa junto de gabinetes de trabalho. Por outro lado, de forma a poder averiguar a diferença de níveis sonoros na sala de descanso foram efetuadas, para além da medição dos níveis sonoros, a medição do ruído de fundo.

Carreira de tiro

Na carreira de tiro foram efetuadas medições do nível sonoro durante um período de 70 minutos, sendo o nível sonoro contínuo equivalente obtido através da seguinte expressão:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \Delta t_i \times 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \quad (9)$$

Sendo que, T é o tempo total de medição, Δt_i os intervalos parcelares de medição e L_i os níveis sonoros correspondentes ao intervalo Δt_i .

No quadro 4.15 são apresentados os níveis sonoros contínuos equivalentes, L_{Aeq} , no interior da carreira de tiro, medidos em ponderação A, para as bandas de oitava entre os 31,25 Hz e os 8000 Hz.

Quadro 4.15 – Níveis sonoros no interior da carreira de tiro.

| Freq. (Hz) | 31.25 | 62.5 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| L_{Aeq} (dB(A)) | 74.8 | 77.6 | 81.9 | 92.0 | 102.1 | 104.6 | 101.6 | 100.0 | 95.8 |

Os valores de nível sonoro contínuo equivalente global e o nível de pico são, respetivamente, 108.8 dB(A) e 133.6 dB(C).

Sala de descanso

Na sala de descanso foram efetuadas cinco medições, com igual duração, do nível sonoro para cada banda de frequência, com e sem a carreira de tiro em funcionamento, sendo o nível sonoro (valor médio) neste compartimento obtido através da seguinte expressão:

$$L = 10 \log \left[\frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 10^{0.1L_i} \right) \right] \quad (10)$$

Assim, no quadro 4.16 e 4.17 são apresentados os níveis sonoros do ruído de fundo na sala de descanso e os níveis sonoros com a carreira de tiro em funcionamento, respetivamente.

Quadro 4.16 – Níveis sonoros do ruído de fundo na sala de descanso.

| Freq. (Hz) | 31.25 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L (dB) | 37.5 | 32.4 | 27.9 | 24.0 | 22.4 | 23.7 | 18.2 | 12.9 | 15.5 |

Quadro 4.17 – Níveis sonoros na sala de descanso.

| Freq. (Hz) | 31.25 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L (dB) | 44.3 | 44.3 | 46.4 | 45.9 | 44.3 | 36.8 | 30.0 | 23.8 | 20.6 |

Embora as medições tenham sido feitas em bandas de terço de oitava, os resultados são apresentados em bandas de oitava entre os 31.25 Hz e os 8000 Hz.

4.2.4 Qualidade do ar

A qualidade do ar na carreira de tiro foi avaliada através da recolha de amostras de ar, duas ao nível do solo, junto à linha dos 15 m, à esquerda e à direita da carreira de tiro, e duas nos atiradores, na zona do peito, próximo das vias respiratórias. A recolha foi efetuada durante uma sessão de tiro num período de aproximadamente 90 minutos e com o sistema de ventilação em funcionamento.

A análise das amostras permitiu quantificar as concentrações de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimónio (Sb) existente no ar. A quantificação exata dos respetivos metais está dependente do limite de quantificação (LQ) que assume valores distintos de metal para metal, sendo que este limite define o valor mínimo que é detetável na análise das amostras.

Os quadros 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 apresentam os limites de quantificação e os valores resultantes das amostragens efetuadas para cada elemento.

Quadro 4.18 – Amostra recolhida ao nível do solo (à esquerda).

| Parâmetro | Limite de quantificação (mg/m ³) | Resultado (mg/m ³) |
|-----------|--|--------------------------------|
| Pb | 0.005 | <LQ |
| Ba | 0.002 | <LQ |
| Sb | 0.001 | <LQ |

Quadro 4.19 – Amostra recolhida ao nível do solo (à direita).

| Parâmetro | Limite de quantificação (mg/m ³) | Resultado (mg/m ³) |
|-----------|--|--------------------------------|
| Pb | 0.005 | <LQ |
| Ba | 0.002 | <LQ |
| Sb | 0.001 | <LQ |

Quadro 4.20 – Amostra recolhida no atirador 1.

| Parâmetro | Limite de quantificação (mg/m ³) | Resultado (mg/m ³) |
|-----------|--|--------------------------------|
| Pb | 0.005 | 0.006 |
| Ba | 0.002 | <LQ |
| Sb | 0.001 | <LQ |

Quadro 4.21 – Amostra recolhida no atirador 2.

| Parâmetro | Limite de quantificação (mg/m ³) | Resultado (mg/m ³) |
|-----------|--|--------------------------------|
| Pb | 0.005 | <LQ |
| Ba | 0.002 | <LQ |
| Sb | 0.001 | <LQ |

O parâmetro identificado como <LQ indica que os resultados são inferiores ao limite de quantificação.

4.3 Avaliação dos resultados

4.3.1 Tempos de reverberação

É possível verificar da análise do quadro 4.1, que os tempos de reverberação são bastante baixos para o volume em causa (1107.3m³), querendo isto dizer que o revestimento aplicado apresenta uma boa capacidade de absorção sonora, contribuindo positivamente para a redução dos níveis sonoros no interior da carreira de tiro.

Como referido anteriormente, no subcapítulo 4.2.1, podemos avaliar o cumprimento dos requisitos acústicos estabelecidos para espaços em edifícios através do decreto-lei nº96/2008 (RRAE). Embora este regulamento não abranja espaços como as carreiras de tiro, é possível efetuar uma comparação dos valores obtidos com espaços que sejam aproximadamente semelhantes em termos de volume. A título de exemplo, verificou-se se o valor obtido do tempo de reverberação médio, T , nas bandas de oitava concentradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz cumpre os requisitos acústicos de um auditório ou sala de volume igual ao da carreira de tiro (artigo 10º-A do RRAE). Assim, para o volume da carreira de tiro, deve-se satisfazer a seguinte condição:

$$T \leq 0.32 + 0.17 \log V \quad (11)$$

Como $T = 0.77 \text{ s} \leq 0.84 \text{ s}$, o valor obtido cumpre os requisitos acústicos de um auditório ou sala com o mesmo volume da carreira de tiro. Refira-se que apesar do regulamento prever para avaliações *in situ* um fator de incerteza, I , associado as medições, este não foi tido em conta neste trabalho.

4.3.2 Isolamento sonoro

Da análise do quadro 4.7, verifica-se que o isolamento sonoro entre os dois compartimentos apresenta valores bastante razoáveis, isto mesmo nas bandas de baixa frequência (acima de 50 dB) onde, habitualmente, o isolamento sonoro dos elementos construtivos é menos eficaz.

O índice de isolamento sonoro apresenta o valor de 66 (-2;-5) dB, o que é um valor considerável de isolamento se tivermos em conta um edifício comum. No entanto, numa carreira de tiro, onde os níveis de ruído produzidos são muitíssimo elevados, este valor de isolamento sonoro revelou-se insuficiente para impedir que o som gerado fosse audível noutras zonas do edifício. Este isolamento comprovou não ser totalmente eficaz, aquando dos ensaios de medição dos níveis sonoros, uma vez que o ruído provocado pelos disparos foi claramente perceptível na sala de descanso.

4.3.3 Níveis sonoros

Para este ensaio apenas poderão ser avaliados os resultados de forma hipotética e aproximada, uma vez que o tempo de medição, por questões logísticas, foi limitado, não correspondendo portanto a um dia de funcionamento normal da carreira de tiro. Assim, será necessário fazer algumas suposições, como considerar que os níveis sonoros durante o horário de funcionamento da carreira de tiro são semelhantes aos valores registados durante o período de medições.

Carreira de tiro

Para avaliar a exposição ao ruído, considerou-se um horário de funcionamento para a carreira de tiro composto por três fases diferentes de utilização, correspondentes a três períodos distintos de ruído: a fase de preparação (das 9h00 às 10h00), a fase de treino (das 10h00 às 12h30 e das 14h00 às 17h00) e a fase de limpeza (das 17h00 às 18h30). Por outro lado, consideraram-se dois possíveis cenários de ruído, alterando os níveis sonoros nas fases de preparação e limpeza, uma vez que durante o período de treino são considerados os valores

registados durante as medições, ou seja, um nível sonoro de 108,8 dB(A). Assim sendo, no primeiro cenário, a fase de preparação ocorre com níveis sonoros relativamente baixos, 65 dB(A), pouco superiores ao nível de conversação, e a fase de limpeza com níveis sonoros mais elevados, 75 dB(A), devido, especialmente, ao ruído da ventilação. No segundo cenário, aumentaram-se os níveis sonoros em 5 dB(A) nas duas fases, comparativamente ao cenário anterior. Estes cenários aplicam-se ao instrutor da carreira de tiro, devido ao período de 8 horas a que está sujeito, sendo a situação mais desfavorável. Os indivíduos que frequentam algumas horas de treino estarão, em princípio, sujeitos a níveis de exposição ao ruído (equivalente ao mesmo dia de trabalho) mais baixos.

O quadro 4.22 apresenta as diversas fases de utilização e respetivos horários, bem como os níveis sonoros que se fazem sentir em cada uma delas.

Quadro 4.22 – Cenários considerados para a avaliação da exposição ao ruído.

| Fases | Preparação (9h00-10h00) | Treino (10h00-12h30) | Treino (14h00-17h00) | Limpeza (17h00-18h30) |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Cenário 1 – L_{Aeq} dB(A) | 65 | 108.8 | 108.8 | 75 |
| Cenário 2 – L_{Aeq} dB(A) | 70 | 108.8 | 108.8 | 80 |

Assim, obtém-se $L_{Aeq} = 107.2$ dB(A) e $L_{Aeq} = 107.2$ dB(A), considerando as oito horas de utilização, para o cenário 1 e 2, respetivamente. Como podemos constatar, o valor de L_{Aeq} é igual para ambos os cenários, o que significa que as alterações introduzidas nos níveis sonoros nas fases de preparação e de limpeza revelam-se pouco significativas no que diz respeito aos níveis sonoros globais. Este resultado é explicado pelos elevados níveis sonoros praticados na fase de treino e pelo número de horas ser muito superior nesta fase do que nas fases de preparação e de limpeza.

Durante os ensaios de medição, os utilizadores da carreira de tiro utilizaram três modelos de protetores auditivos distintos: os protetores “Peltor SportTac”, os protetores “Peltor Optime III” e os protetores “Peltor Bull’s Eye.

Segundo o decreto-lei 182/2006, os níveis globais por banda de oitava, considerando a atenuação do ruído proporcionada pela utilização de protetores auditivos são obtidos de acordo com a expressão seguinte:

$$L_n = L_{Aeq,f,Tk} - M_f + 2S_f \quad (12)$$

Sendo que, S_f é o valor do desvio padrão da atenuação, M_f o valor médio da atenuação dos protetores auditivos em cada banda de frequência, ambos indicados pelo fabricante, e $L_{Aeq,f,Tk}$ os níveis sonoros medidos.

Nos quadros 4.23, 4.24 e 4.25 apresentam-se os valores de S_f e M_f , retirados das fichas técnicas do fabricante, para cada modelo de protetor auditivo e ainda os valores dos níveis globais, L_n .

Quadro 4.23 – Valores de L_n para o protetor auditivo “Peltor SportTac”.

| Freq. (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M_f (dB) | - | 21.1 | 17.9 | 27.0 | 26.8 | 30.5 | 38.3 | 36.4 |
| S_f (dB) | - | 4.3 | 3.1 | 3.8 | 3.0 | 3.0 | 3.7 | 5.4 |
| L_n (dB(A)) | 77.6 | 69.4 | 80.3 | 82.7 | 83.8 | 77.1 | 69.1 | 70.2 |

Quadro 4.24 – Valores de L_n para o protetor auditivo “Peltor Optime III”.

| Freq. (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M_f (dB) | 20.8 | 17.4 | 24.7 | 34.7 | 41.4 | 39.3 | 47.5 | 42.6 |
| S_f (dB) | 3.1 | 2.1 | 2.6 | 2.0 | 2.1 | 1.5 | 4.5 | 2.6 |
| L_n (dB(A)) | 63.0 | 68.7 | 72.5 | 71.4 | 67.4 | 65.3 | 61.5 | 58.4 |

Quadro 4.25 – Valores de L_n para o protetor auditivo “Peltor Bull’s Eye”.

| Freq. (Hz) | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M_f (dB) | 13.1 | 10.9 | 17.2 | 26.6 | 28.3 | 33.5 | 37.8 | 37.9 |
| S_f (dB) | 3.2 | 3.2 | 2.5 | 2.2 | 2.7 | 2.6 | 2.0 | 2.6 |
| L_n (dB(A)) | 70.9 | 77.4 | 79.8 | 79.9 | 81.7 | 73.3 | 66.2 | 63.1 |

É possível estimar, a partir dos níveis globais obtidos da expressão anterior, o nível sonoro contínuo equivalente, $L_{Aeq,Tk,efect}$, a que ficam expostos os utilizadores equipado pelos protetores auditivos, através da expressão seguinte:

$$L_{Aeq,Tk,efect} = 10 \log \sum 10^{0,1L_n} \quad (13)$$

Sendo que, T_k é o tempo, em horas, de exposição ao ruído k .

Assim, os valores de $L_{Aeq,Tk,efect}$ são de 88.3 dB(A), 77.2 dB(A) e 86.4 dB(A) para os protetores auditivos “Peltor SportTac”, ”Peltor Optime III” e “Peltor Bull’s Eye”, respetivamente.

A exposição pessoal diária efetiva, $L_{EX,8h,efect}$, corresponde à exposição pessoal diária ao ruído tendo em conta a atenuação proporcionada pelos protetores auditivos e pode ser obtida através da expressão:

$$L_{EX,8h,efect} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{8} \right) \times \sum_{k=1}^n T_k \cdot 10^{0,1L_{Aeq}} \right] \quad (14)$$

Sendo que, T_k é o tempo de exposição ao ruído e $L_{Aeq,Tk,efect}$ o nível sonoro contínuo equivalente a que fica exposto o utilizador equipado com protetores auditivos.

Assim, considerando que os utilizadores apenas utilizam os protetores auditivos na fase de treino e uma vez que foram utilizados três tipos de protetores diferentes, apresentam-se nos quadros 4.26 e 4.27 os valores da exposição pessoal diária, considerando as oito horas de utilização, para os cenários 1 e 2, respetivamente.

Quadro 4.26 – Exposição pessoal diária ao ruído para o cenário 1 (com protetores).

| Preparação (1h) | Treino (5.5h) | Limpeza (1.5h) | |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|
| L_{Aeq} (dB(A)) | $L_{Aeq,Tk,efec}$ (dB(A)) | L_{Aeq} (dB(A)) | $L_{EX,8h}$ (dB(A)) |
| Peltor SportTac | | | |
| 65 | 88.3 | 75 | 86.7 |
| Peltor Optime III | | | |
| 65 | 77.2 | 75 | 76.3 |
| Peltor Bull’s Eye | | | |
| 65 | 86.4 | 75 | 84.9 |

Quadro 4.27 – Exposição pessoal diária ao ruído para o cenário 2 (com protetores).

| Preparação (1h) | Treino (5.5h) | Limpeza (1.5h) | |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|
| L_{Aeq} (dB(A)) | $L_{Aeq,Tk,efec}$ (dB(A)) | L_{Aeq} (dB(A)) | $L_{EX,8h}$ (dB(A)) |
| Peltor SportTac | | | |
| 70 | 88.3 | 80 | 86.9 |
| Peltor Optime III | | | |
| 70 | 77.2 | 80 | 77.5 |
| Peltor Bull's Eye | | | |
| 70 | 86.4 | 80 | 85.1 |

Com estes resultados é possível verificar as condições exigidas pelo decreto-lei 182/2006, também dispostas no subcapítulo 2.3.6, no que se refere aos valores de ação superior e inferior e aos valores limite de exposição, relativamente à exposição pessoal diária de um trabalhador e ao nível de pressão sonora de pico.

Valores de ação superiores e inferiores:

Considerando os valores obtidos anteriormente, para a exposição pessoal diária ao ruído, 107.2 dB(A), e para a exposição ao ruído de pico, 133.6 dB(C), verifica-se que o primeiro não cumpre os valores de ação superiores e inferiores, sendo por isso necessário, de acordo com a legislação, adotar medidas preventivas, nomeadamente, garantir o uso dos protetores auditivos.

Valores limite de exposição:

Dos quadros 4.26 e 4.27 é possível verificar que em nenhuma situação são ultrapassados os valores limites de exposição. No entanto, apesar de todos os protetores cumprirem os requisitos recomenda-se, preferencialmente, o uso do protetor auditivo “Peltor Optime III” por ter os valores mais afastados do valor limite. Quanto ao valor de exposição ao ruído de pico, 133.6 dB(C), podemos constatar que também se encontra dentro dos valores limites estabelecidos.

Sala de descanso

A inexistência de regulamentação específica relativa aos níveis sonoros no interior de edifícios, em função do tipo de utilização, limita, uma vez mais, uma correta avaliação. No entanto, existe no decreto-lei 96/2008 um parâmetro designado por “nível de avaliação padronizado, $L_{Ar,nT}$ ” relativo ao ruído de equipamentos coletivos e que é expresso pela equação:

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (15)$$

Sendo que, L_A é o nível sonoro contínuo equivalente (ponderado A), K a correção devido às características tonais do ruído e T o tempo de reverberação no compartimento recetor.

O regulamento estabelece para edifícios de serviço que, nos locais situados no interior do edifício onde se exerçam atividades que requeiram concentração e sossego, o nível de avaliação padronizado, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos deva satisfazer uma das seguintes condições: i) $L_{Ar,nT} \leq 42$ dB(A), se o funcionamento do equipamento for intermitente; ii) $L_{Ar,nT} \leq 37$ dB(A), se o funcionamento do equipamento for contínuo. Apesar do ruído produzido na carreira de tiro não poder ser considerado ruído de equipamento coletivo, efetuou-se o cálculo do parâmetro, nível de avaliação.

Assim, obteve-se para o nível de avaliação padronizado o valor de $L_{Ar,nT} = 38$ dB(A). Como se pode verificar, esse valor cumpre a condição i), no caso de o ruído produzido corresponder ao ruído de um equipamento com funcionamento intermitente, por outro lado não satisfaz a condição ii), considerando o ruído produzido correspondente ao ruído de um equipamento com funcionamento contínuo. Numa carreira de tiro é difícil definir se o ruído é intermitente ou contínuo. Na realidade não é de todo intermitente, já que a sua intermitência é bastante frequente, principalmente, na fase de treino. Assim sendo, o mais correto será considerar uma solução intermédia, com um valor que se enquadra entre os dois limites estabelecidos.

Por outro lado, os níveis sonoros no interior de edifícios podem ser avaliados com base nos critérios de conforto acústico (Penedo, 2008) traduzidos pelas curvas de incomodidade. Neste contexto, existem várias curvas de incomodidade das quais se destacam as curvas NC “noise criteria” e as curvas NR “noise rating” pela sua frequente utilização. Além destas curvas existem ainda as curvas PNC “preferred noise criteria”, as curvas NBC “balanced noise criteria”, as curvas RC “room criteria”, entre outras. Estes critérios de conforto acústico permitem determinar um “valor único” de classificação por comparação com os níveis sonoros medidos num determinado local, recorrendo ao método tangencial, sendo que será dado pelo valor da menor curva de incomodidade que não é excedida por nenhum ponto da curva dos níveis de pressão sonora medidos.

As curvas NC, representadas na figura 4.5, foram desenvolvidas por Beranek em 1957, que realizou um inquérito a um conjunto de pessoas presentes em diferentes tipos de ambientes e conseqüentemente, a diferentes tipos de ruído, procedendo à caracterização dos mesmos para cada ambiente. A descrição espectral dos níveis sonoros foi efetuada por bandas de oitava.

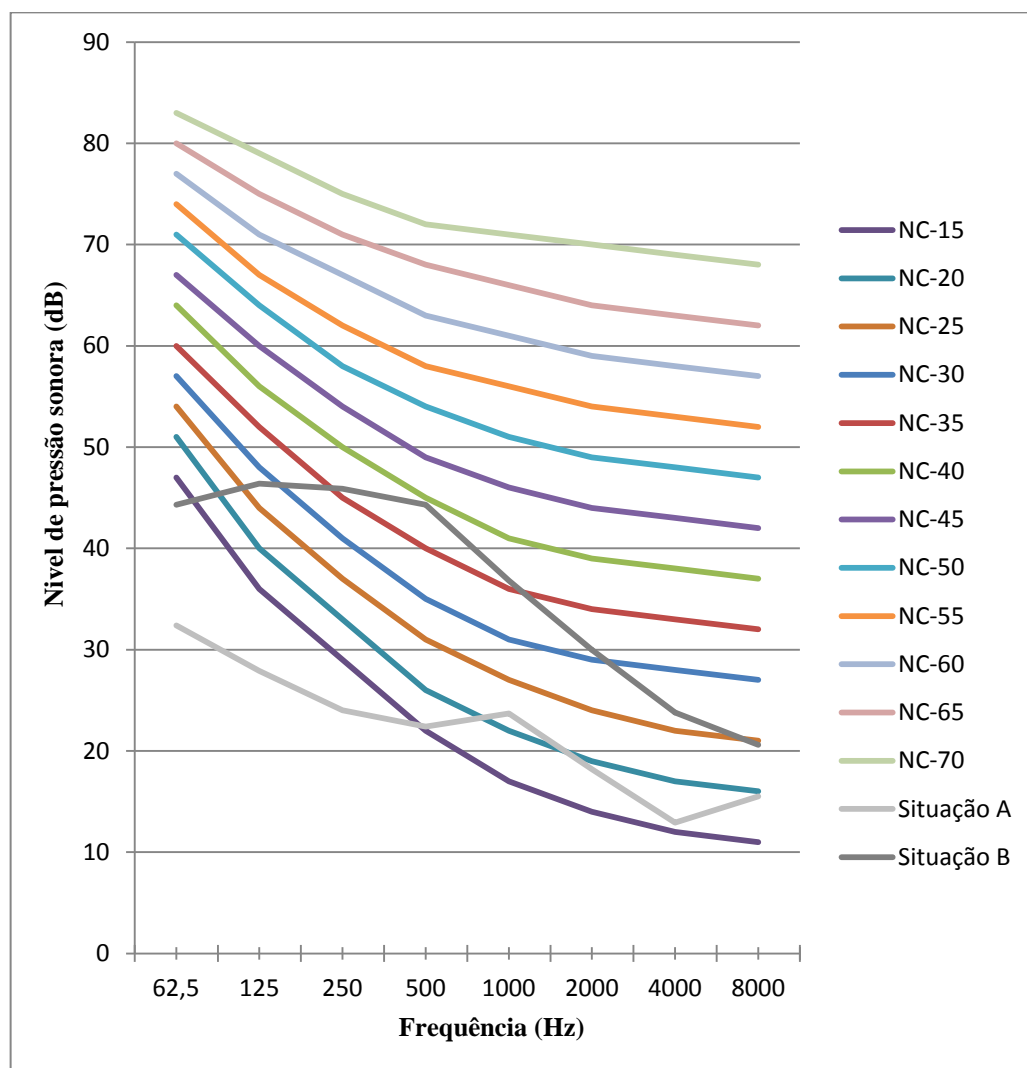


Figura 4.5 – Espectro de curvas NC

As curvas NR, concebidas em 1962 por Kosten e VanOs, são de utilização mais frequente na Europa, muito devido ao facto de terem sido institucionalizadas através das normas ISO. Estas curvas são em tudo semelhantes às curvas NC diferenciando-se apenas na definição espectral pelo facto de se estenderem por todas as bandas de frequência dos 31.25 Hz aos 8000 Hz. A figura 4.6 apresenta o espectro de curvas NR.

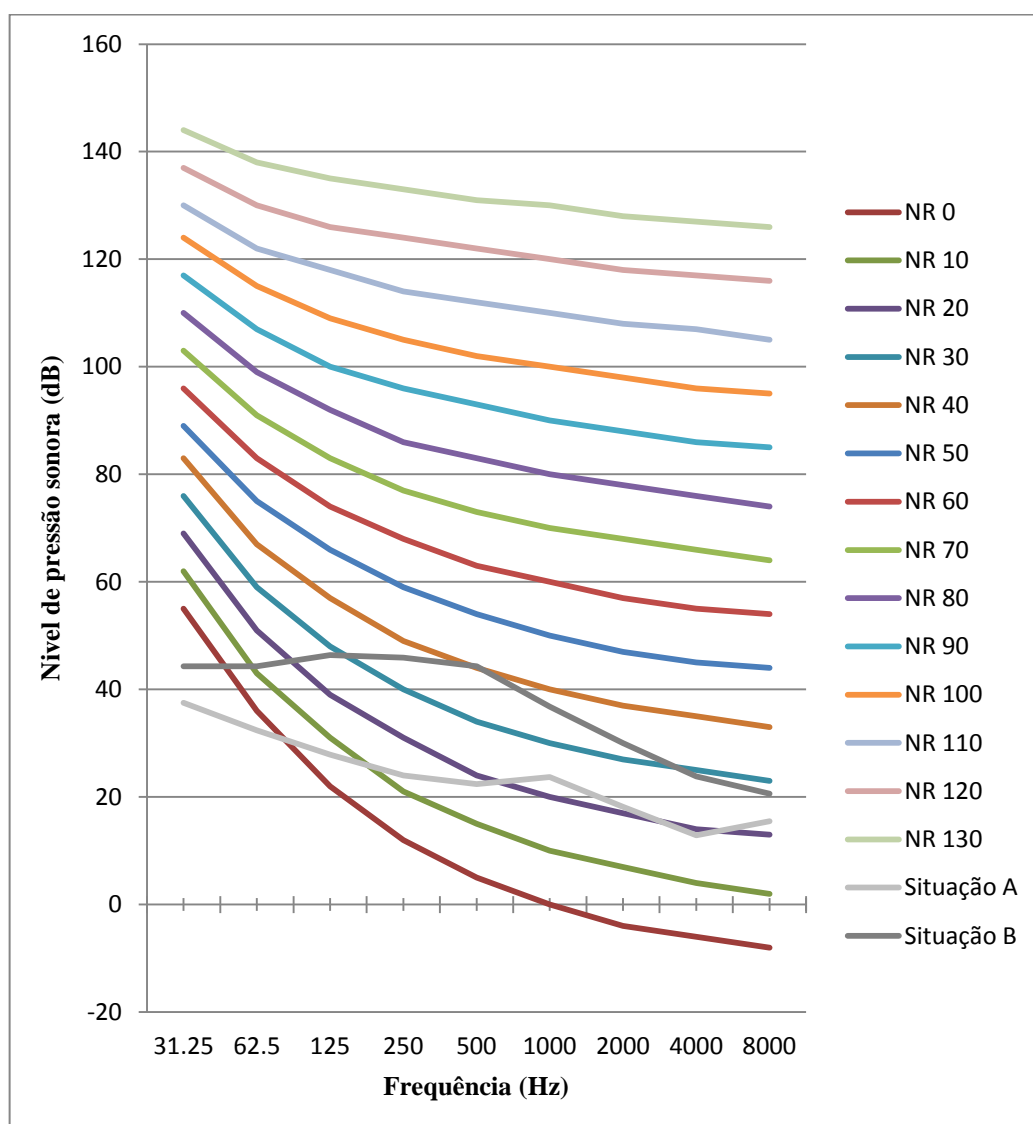


Figura 4.6 – Espectro de curvas NR.

As curvas PNC resultam de uma revisão das curvas NC, efetuada por Beranek, Blazier e Figwer em 1971, para colmatar algumas limitações, nomeadamente, quando o espectro sonoro de um ruído segue aproximadamente uma curva NC. Nestas condições a aplicação deste critério poderia não dar origem a um som classificado como “sofrível”, mas a som potencialmente incómodo, designadamente, a sons classificados como “ronco” (rumble) ou “silvo” (hiss). Quanto às curvas NCB, também criadas por Beranek em 1989, derivam de uma extensão das curvas NC até à banda de oitava de frequência central de 16 Hz, para complementar a avaliação dos estímulos sonoros de baixa frequência. As figuras 4.7 e 4.8 apresentam os espectros de curvas PNC e NBC, respetivamente.

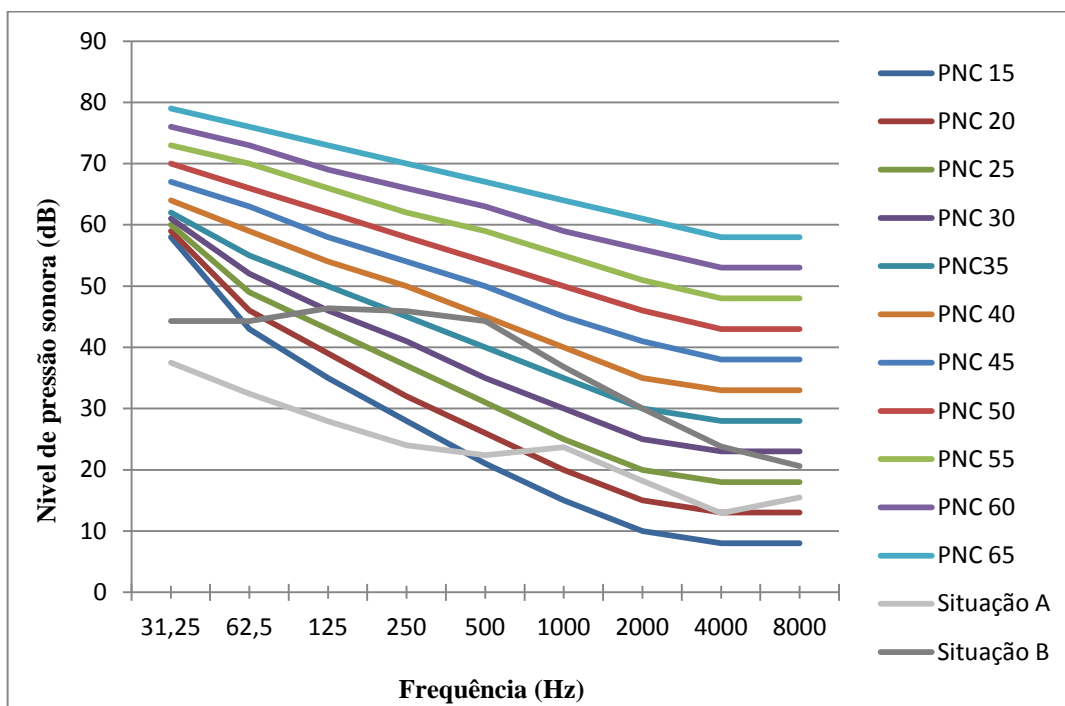


Figura 4.7 – Espectro de curvas PNC.

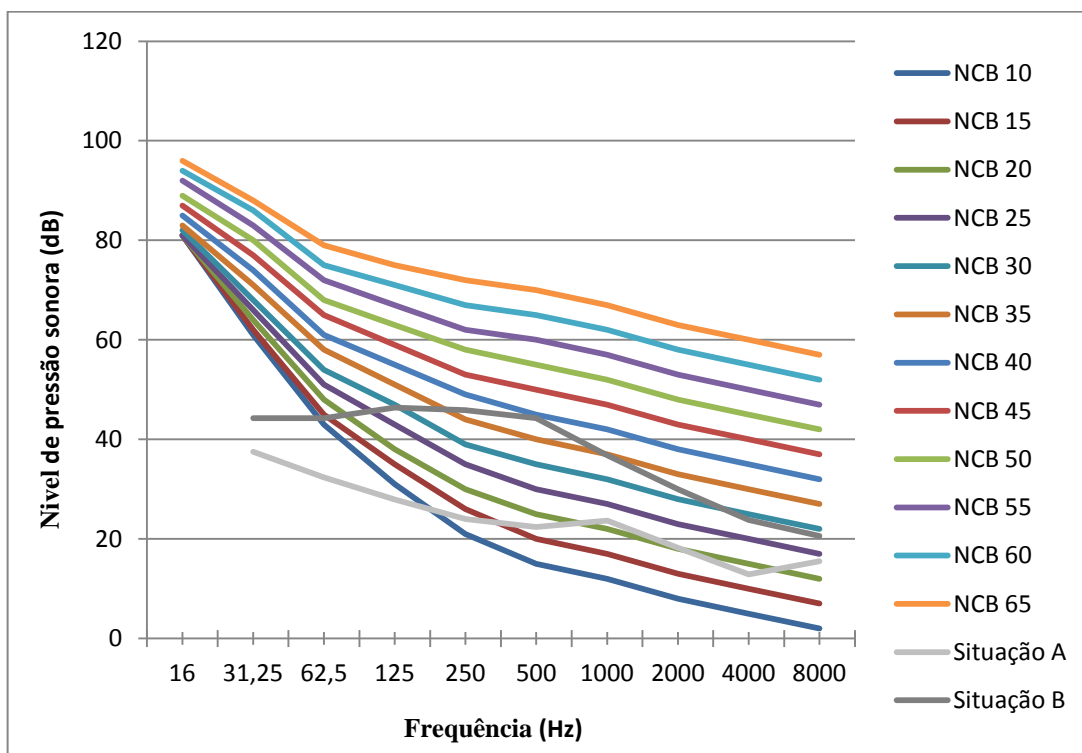


Figura 4.8 – Espectro de curvas NCB.

As curvas RC, representadas na figura 4.9, foram deduzidas empiricamente por Blazier em 1981, para aplicação em espaços desocupados e servidos por sistemas e instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado. Estas permitem uma caracterização dupla do espectro sonoro de um ruído, fornecendo a classificação RC e informação sobre o balanceamento espectral desse ruído, de acordo com as seguintes características: “neutro” (neutral), “ronco” (rumble), “silvo” (hiss) e “tonal” (tonal). Tem ainda a particularidade de proporcionar a análise das componentes de baixa frequência 16 Hz, 31.25 Hz e 62.5 Hz, alusiva à probabilidade de ruído induzido por vibração a partir de paramentos aligeirados da envolvente do espaço.

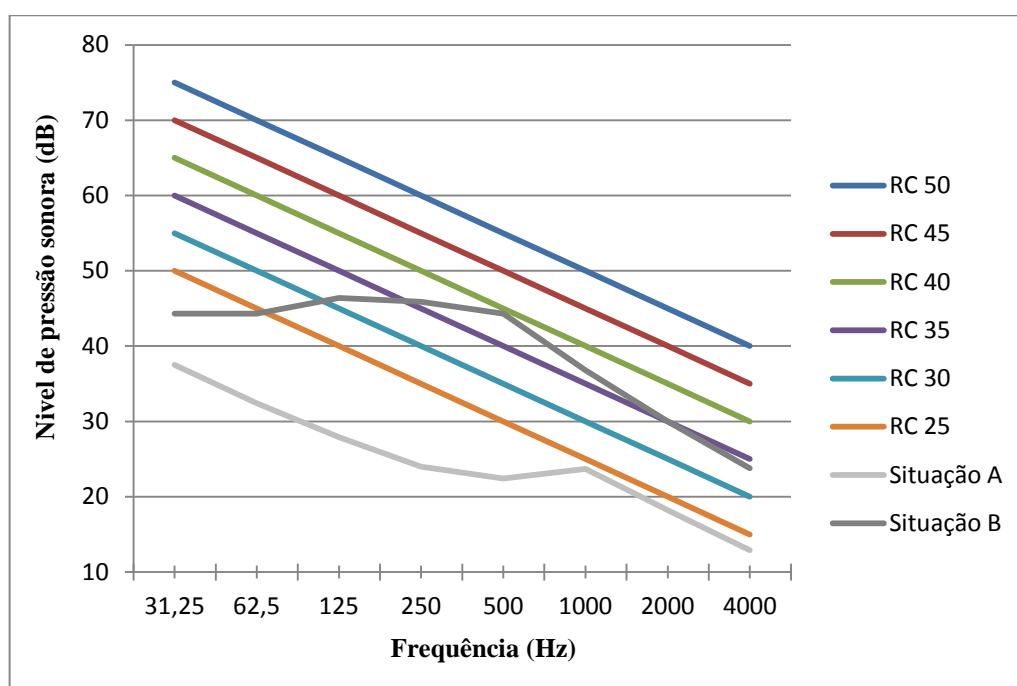


Figura 4.9 – Espectro de curvas RC

Como foi dito anteriormente, a análise destas curvas permitem a determinação de um “valor único”, permitindo mais facilmente, definir os critérios de conforto acústico para diferentes ambientes. Existem, na literatura nacional e internacional, inúmeras referências sobre os valores recomendados para diferentes tipos de espaços, no entanto, estes valores apenas possibilitam uma comparação, uma vez que estes variam de fonte para fonte. Existem ainda, para fins meramente indicativos, referências que classificam qualitativamente o ruído de um determinado espaço através dos níveis sonoros contínuos equivalentes, com ponderação A, e das classificações dos critérios de conforto acústico. O quadro 4.28 apresenta uma dessas referências e será utilizado neste trabalho, a título exemplificativo, para comparação dos valores obtidos.

Quadro 4.28 – Comparação de diferentes critérios de nível sonoro ambiente (Bies e Hansen, 2005).

| dB(A) | Curvas de incomodidade | | | Classificação |
|-------|------------------------|--------------|----|-----------------------|
| | NR | NC, PNC, NBC | RC | |
| 25-30 | 20 | 20 | 20 | Muito silencioso |
| 30-35 | 25 | 25 | 25 | |
| 35-40 | 30 | 30 | 30 | Silencioso |
| 40-45 | 35 | 35 | 35 | |
| 45-50 | 40 | 40 | 40 | Moderadamente ruidoso |
| 50-55 | 45 | 45 | 45 | |
| 55-60 | 50 | 50 | 50 | Ruidoso |
| 60-65 | 55 | 55 | - | |
| 65-70 | 60 | 60 | - | Muito ruidoso |

No quadro 4.29 apresentam-se os níveis sonoros equivalentes para duas situações de referência, A e B, correspondentes às situações sem e com a carreira de tiro em funcionamento, respetivamente.

Quadro 4.29 – Valores de L_{Aeq} para a situação A e B.

| Situação | A | B |
|-------------------|------|------|
| L_{Aeq} (dB(A)) | 27,0 | 43,9 |

Comparando os valores obtidos com os valores de referência constantes no quadro 4.28 verifica-se que para a situação A os níveis sonoros equivalentes classificam o ambiente sonoro de “muito silencioso” e para a situação B de “silencioso”.

Para os valores medidos, apresentados nos quadros 4.16 e 4.17 respetivos aos cenários A e B, obteve-se o valor de classificação para cada curva de incomodidade acima referida. O quadro 4.30 apresenta os resultados da aplicação dos critérios de conforto acústico (NC, NR, PNC, NBC, RC).

Quadro 4.30 – Resultados dos critérios de conforto acústico NC, NR, PNC, NBC e RC.

| Situação | A | B |
|----------|----|----|
| NC | 22 | 39 |
| NR | 24 | 40 |
| PNC | 24 | 39 |
| NBC | 24 | 39 |
| RC | 24 | 39 |

À semelhança do que acontece para os níveis sonoros equivalentes, verifica-se que para a situação A todos os critérios de conforto acústico classificam o ambiente sonoro de “muito silencioso”. Por outro lado, para a situação B o ambiente sonoro é classificado como “silencioso” para todos os critérios de conforto acústico, à exceção do critério NR que se encontra classificado como “moderadamente ruidoso”. Assim, conclui-se que apesar do ruído provocado na carreira de tiro ser perceptível na sala de descanso, este chega com pouca intensidade, não sendo demasiado incomodativo para os utilizadores dos espaços adjacentes.

4.3.4 Qualidade do ar

Da análise das amostras de ar, representadas nos quadros 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21, verifica-se que as concentrações de chumbo (Pb), bário (Ba) e antimónio (Sb) foram muito reduzidas, pois em todas elas os valores foram inferiores ao limite de quantificação, à exceção da amostra retirada do atirador 1 que apresentou um valor superior ao limite de quantificação para o chumbo. Considerando o caso mais desfavorável, o do instrutor de tiro que pode passar um dia de trabalho (oito horas) na carreira de tiro, a exposição, por acumulação seria de 0,032 mg/m³, considerando os mesmos níveis de poluição ao longo do tempo. Este valor é muito inferior ao limite imposto no decreto-lei nº24/2012, logo, podemos dizer que o sistema de ventilação adotado demonstra ter uma boa capacidade de renovação do ar não permitindo a acumulação de partículas.

5 CONCLUSÃO

5.1 Considerações finais

As carreiras de tiro são infraestruturas que requerem particular atenção no que se refere à saúde e à segurança dos seus utilizadores. Para além dos riscos associados à balística, os fenómenos envolvidos na prática de tiro resultam na produção de elevados níveis de ruído e no aumento da concentração de chumbo existente no ar. Ao longo deste trabalho foram referidos os efeitos prejudiciais inerentes da exposição ao ruído e da exposição ao chumbo.

De forma a precaver os utilizadores dos riscos enunciados é fundamental um adequado condicionamento e isolamento acústico e um sistema de ventilação eficaz. Assim, este trabalho teve como objetivo a avaliação da qualidade acústica e da qualidade do ar numa carreira de tiro recentemente construída. Para isso, foram realizados ensaio *in situ*, nomeadamente, medições do tempo de reverberação, do isolamento sonoro, dos níveis sonoros e da qualidade do ar.

Após a realização dos ensaios e análise dos resultados, verificou-se que os tempos de reverberação medidos são relativamente baixos, tendo em consideração o volume da carreira de tiro, o que significa que os materiais de revestimentos utilizados apresentam boa capacidade de absorção e conseqüente redução dos níveis sonoros no interior da carreira de tiro. No que se refere ao isolamento sonoro medido entre os dois compartimentos analisados (carreira de tiro e sala de descanso), constatou-se que os valores apresentados são bastante razoáveis se considerarmos um edifício comum. No entanto, os elevados níveis sonoros produzidos pelos disparos revelaram a insuficiência do isolamento sonoro na transposição do ruído da carreira de tiro para os espaços adjacentes.

Em relação às condições exigidas pelo decreto-lei 182/2006 no que se refere aos valores de ação superiores e inferiores e aos valores limite de exposição, relativamente à exposição pessoal diária de um trabalhador e ao nível de pressão sonora de pico, verificou-se que os níveis sonoros não cumprem os valores de ação superiores e inferiores, sendo por isso necessário adotar medidas preventivas, nomeadamente, garantir o uso dos protetores auditivos. Os valores limite de exposição foram cumpridos por todos os protetores auditivos, sendo o protetor “Peltor Optime III” o que confere maior proteção por permitir atingir valores mais afastados do valor limite estipulado.

Na sala de descanso, embora os níveis sonoros não sejam demasiado elevados, verificou-se que o som gerado pelos disparos na carreira de tiro é perfeitamente perceptível. De acordo com os critérios de conforto, o ambiente sonoro encontra-se classificado entre o “silencioso” e “moderadamente ruidoso”.

Por fim, no que diz respeito à exposição ao chumbo e às condições exigidas pelo decreto-lei nº24/2012, constatou-se que a concentração de chumbo existente na carreira de tiro era muito reduzida, sendo abaixo dos limites recomendados pelo decreto-lei. Este indicador comprova a eficiência do sistema de ventilação existente na carreira de tiro.

5.2 Perspetivas de trabalhos futuros

Como trabalhos futuros fica a sugestão de ensaios que contemplem um dia inteiro de trabalho, por forma a obter resultados exatos da exposição diária de um instrutor de tiro ao ruído e à concentração de chumbo.

Penso ser igualmente relevante, a recolha periódica de amostras de ar para avaliação dos níveis de concentração de chumbo no interior da carreira de tiro, facilitando o controlo do sistema de ventilação.

Seria também interessante a realização esporádica de exames médicos aos utilizadores da carreira de tiro, nomeadamente, audiométricos, para avaliação das capacidades auditivas, e análises clínicas, para avaliação da taxa individual de plumbémia.

Poderá ainda fazer-se a monitorização de outras carreiras de tiro, incluindo carreiras de tiro mais antigas, o que nos permitirá comparar as soluções adotadas e verificar a evolução das mesmas ao longo do tempo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Arezes, P. (2002). “Percepção do Risco de Exposição Ocupacional ao Ruído”. Tese de Doutoramento, Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho.

Basto, J. (2008). “Carreira de Tiro: Introdução aos Princípios, Técnicas e Dispositivos Conducentes à sua Optimização”. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnica, Lisboa.

Bies, D., Hansen, C. (2003). “Engineering Noise Control: Theory and Practice”. Spon Press, Third Edition, London.

CDC@ (2015). <http://www.cdc.gov/niosh/pubs/>. Centers For Disease Control and Prevention (Página Oficial), Atlanta.

Conseco@ (2015). <http://www.conseco.com.br/termoacustica.html>. Conseco (Página Oficial), Belo Horizonte.

Construindo@ (2015). <http://construindo.org/la-de-rocha/>. Construindo.

Diário da República (2006). Decreto-Lei nº182/2006 de 6 de Setembro. Diário da República nº172 Serie I.

Diário da República (2007). Decreto-Lei nº9/2007 de 17 de Janeiro. Diário da República nº12 Serie I

Diário da República (2008). Decreto-Lei nº96/2008 de 9 de Junho. Diário da República nº110 Serie I.

Diário da República (2010). Decreto Regulamentar nº6/2010 de 28 de Dezembro. Diário da República nº250 Serie I.

Diário da República (2012). Decreto-Lei nº24/2012 de 6 de Fevereiro. Diário da República nº26 Serie I.

Ecochoice (2013). “Gestão de Resíduos e Impactes Ambientais Associados à carreira de Tiro”. Relatório, Ecochoice, Lisboa.

- Isbert, A. (1998). “Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos”. Edicions UPC, Primera edición, Barcelona.
- Isocor@ (2015). <http://isocor.pai.pt/ms/ms/isocor-aglomerados-de-cortica-ace-productos-de-cortica-1050-012-lisboa/ms-90047830-p-3/>. Isocor (Página Oficial), Lisboa.
- Macedo, M. (2004). “Análise da Eficiência da Proteção Individual Auditiva em Situações de Exposição a Ruído Impulsivo”. Tese de Mestrado, Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho.
- Mateus, D. (2008). “Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído”. Coimbra.
- MT-38-2 (1989). “Caracterização e Técnica das Infra-Estruturas de Tiro”. Manual Técnico, Estado-maior do Exército, Lisboa.
- NIOSH 7300 (2003). NIOSH Manual of analytical Method, Atlanta.
- NP EN ISO 140-4:2009 (2009). “Acústica: Medição do Isolamento Sonoro de Edifícios e de Elementos de Construção. Parte 4: Medição *In Situ* do Isolamento Sonoro a Sons Aéreos Entre Compartimentos”. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN ISO 717-1:2009 (2009). “Acústica: Medição do Isolamento Sonoro de Edifícios e de Elementos de Construção. Parte 1: Isolamento Sonoro a Sons de Condução Aérea”. Instituto Português da Qualidade.
- NP EN ISO 3382-2:2011 (2011). “Acústica: Medição de Parâmetros de Acústica de Salas. Parte 2: Tempo de Reverberação em Salas Correntes”. Instituto Português da Qualidade.
- OSHA@ (2015). <http://www.osha.gov/law-regs.html>. Occupational Safety and Health Administration (Página Oficial), Washington DC.
- Patrício, J. (2010). “Acústica nos Edifícios”. Verlag Dashofer, 6ª Edição, Lisboa.
- Peltor (2009). “Peltor™ Bull’s Eye™”. Ficha Técnica. 3M Peltor, Vänamo.
- Peltor (2009). “Peltor™ Optime™ III”. Ficha Técnica. 3M Peltor, Vänamo.
- Peltor (2014). “Peltor™ SportTac™”. Ficha Técnica. 3M Peltor, Vänamo.

- Penedo, C. (2008). “Ruído de Equipamentos Eletromecânicos em Espaços Ocupados”. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Portela, M. (2011). “Materiais Acústicos: Conceitos Para Acústica Arquitetónica”. Texto de Apoio, Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC, Florianópolis.
- RAD-38-1 (1988). “Regulamento Administrativo das Infra-Estruturas de Tiro”. Regulamento Administrativo, Estado-maior do Exército, Lisboa.
- Ratsa@ (2015). <http://www.ratsa.com/ver.php?modelo=59>. Ratsa (Página Oficial), Estado de México.
- Seeley, R., Stephens, T., Tate, P. (2003). “Anatomia & Fisiologia”. Lusociência, 6ª Edição, Lisboa.
- Sindespe@ (2015). <http://sindespe.org.br/portal/instrucao-belica-iii-qual-a-melhor-municao-a-ser-usada/>. Sindespe, Campinas.
- Solutions 3M@ (2015). http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/pt_PT/PPE_SafetySolutions_EU/Safety/. 3M Portugal (Página Oficial), Lisboa.
- Tadeu, A., Mateus, D., António, J., Godinho, L., Mendes, P. (2010). “Acústica Aplicada”. Texto de Apoio à Disciplina de “Acústica Aplicada”, DEC-FCTUC, Coimbra.
- Tropicalrio@ (2015). <http://www.tropicalrio.com.br/prod-dutos.php>. Tropicalrio (Página Oficial), Rio de Janeiro.