



EXPOSIÇÃO A INFRASSONS E RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA EM LINHAS DE METRO

Helder. Simões¹, Ana. Vitorino², Alves-Pereira. Mariana³, Óscar. Tavares⁴, João Paulo. Figueiredo⁴, Ana. Ferreira⁴, Barros. Nelson Azevedo⁵

¹ Instituto Politécnico de Coimbra, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, S. Martinho do Bispo, 3045-093 Coimbra, Portugal. Centro de Investigação em Saúde e Tecnologia(H&TRC), Escola Superior de Tecnologia da Saúde, Instituto Politécnico de Coimbra, Rua 5 de Outubro, 3045-043, Coimbra, Portugal

{heldersimoes@estesc.ipc.pt}

² Instituto Politécnico de Coimbra, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, S. Martinho do Bispo, 3045-093 Coimbra, Portugal

{catarina.vitorino16@gmail.com}

³ Universidade Lusófona, Campo Grande, Lisboa, Portugal

{m.alvespereira@gmail.com}

⁴ Instituto Politécnico de Coimbra, Rua da Misericórdia, Lagar dos Cortiços, S. Martinho do Bispo, 3045-093 Coimbra, Portugal

{oscar@estesc.ipc.pt; jpfigueiredo@estesc.ipc.pt; anaferreira@ipc.pt}

⁵ FP-I3ID - Fernando Pessoa Institute for Research, Innovation and Development, 4249-004 Porto, Portugal;

{nelson@ufp.edu.pt}

Resumo

Os infrassons, com frequências iguais ou inferiores a 20 Hz, são considerados abaixo do limiar da audição humana, já o ruído de baixa frequência (RBF) refere-se a frequências iguais ou inferiores a 500 Hz. Este tipo de ruído tem características particulares, podendo causar mais desconforto, e consequências a longo prazo, do que os efeitos auditivos. O objetivo desta investigação foi quantificar os IRBF a que os utilizadores e trabalhadores de uma linha de metropolitano estão expostos. Foi utilizado o sonómetro “CESVA SC420” que permite a aquisição de dados acústicos, na gama espectral 2-20000 Hz, com uma resolução temporal de 60 segundos, utilizando o módulo de “Análise FFT” (Fast Fourier Transform). Foram utilizadas 700 amostras, na gama espectral 2-100 Hz. Os níveis de pressão sonora (SPL) a 8 Hz e 16 Hz superam os limites estabelecidos pela legislação da Federação Russa. Uma exposição contínua poderá causar efeitos na saúde, a doença vibroacústica, para além das doenças cardiovasculares, depressão e distúrbios do sono. Com o presente estudo foi possível identificar que os trabalhadores e utilizadores do metropolitano estão expostos a níveis elevados de IRBF, sendo os níveis de infrassons e ruído de baixa frequência (IRBF), no espaço exterior, dentro dos limites utilizados como referência. Este estudo reforça a necessidade de criação de um quadro legal de referência, a nível Nacional, que permita proteger e controlar a exposição aos IRBF, com ênfase na necessidade de implementação de medidas preventivas de modo a salvaguardar o bem-estar dos trabalhadores e utilizadores de linhas de metro.

Palavras-chave: Exposição a IRBF, Infrassons, Ruído de Baixa Frequência, Metropolitano, Doenças Vibroacústicas.

Abstract

Infrasound, with frequencies of 20 Hz or less, is considered to be below the threshold of human hearing, while low frequency noise (LFN) refers to frequencies of 500 Hz or less. This type of noise has particular characteristics and can cause more discomfort and long-term consequences than hearing effects. The aim of this research was to quantify the ILFN to which users and workers on a metro line are exposed. The "CESVA SC420" sound level meter was used to acquire acoustic data in the spectral range 2-20000 Hz, with a temporal resolution of 60 seconds, using the "FFT Analysis" module (Fast Fourier Transform). 700 samples were used, in the 2-100 Hz spectral range. The sound pressure levels (SPL) at 8 Hz and 16 Hz exceed the limits set by the legislation of the Russian Federation. Continuous exposure can cause health effects such as vibroacoustic disease, in addition to cardiovascular disease, depression and sleep disorders. With this study, it was possible to identify that metro workers and users are exposed to high levels of ILFN, with the levels of ILFN in the outdoor space being within the limits used as a reference. This study reinforces the need to create a legal reference framework at national level to protect and control exposure to ILFN, with emphasis on the need to implement preventive measures to safeguard the well-being of workers and users of metro lines.

Keywords: Exposure to IRBF, Infrasound, Low Frequency Noise, Metropolitan, Vibroacoustic Diseases.

PACS no. 43.28.Dm, 43.40.Ng

1 Introdução

Nos dias que correm, e com a crescente necessidade de uma mobilidade cada vez mais eficiente e segura, os sistemas de transporte público, neste caso, o sistema de metropolitano, são um fator essencial para a sociedade, pois proporcionam um aumento da acessibilidade, melhorando a qualidade de vida urbana [11]. Mas, é transversal os sistemas de metro serem bastante ruidosos, sendo o seu ruído amplificado pelo espaço envolvente, as zonas subterrâneas [10].

Este ruído provém principalmente da interação entre as rodas e a via, devido à alta velocidade a que este se desloca, dependendo da folga de contacto entre os mesmos, bem como das condições estruturais [6]. O termo ruído é definido como sendo um som desagradável ou incomodativo, que se propaga de acordo com o meio em que ocorre, podendo este ter diferentes níveis de intensidade [18]. O ruído transmitido pela atmosfera, é transmitido através do ar, e consiste na vibração das partículas de ar sob a forma de ondas sonoras. Já o ruído transmitido por estruturas, propaga-se através de estruturas sólidas sendo que estas, em vibração, irradiam o ruído para um espaço, sendo este assim captado como som pelo ouvido. O ruído transmitido pelo solo, propaga-se pelo solo como vibração até chegar a alguma estrutura, como um edifício, propagando-se através da estrutura do mesmo como vibração, ocorrendo o mesmo referido anteriormente [15].

Existem ruídos no nosso quotidiano que, apesar de não causarem perda auditiva, causam incómodo e podem ter outros efeitos no nosso organismo. Alguns destes ruídos são o zumbido de eletrodomésticos, de sistemas de ventilação, de ares condicionados, o som de transportes públicos em áreas urbanas e suburbanas, entre outros [4].

O espectro acústico subdivide-se em infrassons, sons audíveis e ultrassons. Apesar de todas as frequências acústicas merecerem atenção, a que mais me suscita preocupação são os IRBF. Infrassons são todos os sons cujo espectro é ≤ 20 Hertz (Hz), relativamente ao ruído de baixa frequência, embora a sua definição internacional ainda não tenha sido formulada, este define-se no espectro 20-500Hz [16].

Os infrassons não são percecionados como sons puros e, apesar de durante muito tempo se ter tomado como verdade que estes estavam geralmente abaixo do limiar da audição, é atualmente comprovado que estes se manifestam através de sensações, tais como a sensação de pulsação na membrana do tímpano e no ouvido médio.

Foram estabelecidos limiares auditivos para os infrassons, sendo estes, 40dB para 100Hz e 140dB para 1Hz [8]. Os IRBF podem também ser percebidos como vibrações, sendo que na gama de frequências de 1-80Hz, os seres humanos sentem vibrações por todo o corpo [20].

Os IRBF têm origem a partir de diversas fontes, podendo estas ser origem natural, no caso de sismos, atividade vulcânica, trovoadas, entre outros; ou de origem antropogénica, como por exemplo, explosões militares e industriais, turbinas eólicas, centrais geotérmicas, lançamento de foguetes, ferroviária, entre outros [9],[18].

Estes sons possuem características singulares ao seu espectro acústico, estes são menos atenuados pelas infraestruturas, fazem tremer paredes e objetos, atravessam grandes distâncias com perda reduzida de energia consequente da atenuação da atmosfera e do solo, possuem a especificidade de provocar ressonância no corpo humano, sendo os protetores auriculares ineficazes. Todos estes efeitos particulares aos IRBF demonstram como estes merecem uma maior atenção [5].

Podemos estar expostos a IRBF nos momentos mais diversos do dia-a-dia, no trabalho, em casa, nas deslocações e até mesmo nas atividades de lazer. Estudos recentes executados em animais revelam que a exposição durante o período intrauterino tem efeitos teratogénicos, isto é, influência diretamente o desenvolvimento do feto. Para os tecidos biológicos o tipo de exposição não é relevante, pois os efeitos da mesma dependem da dose (quantidade de energia recebida) e do tempo de exposição [4].

A exposição prolongada, superior a 10 anos, a ruído de grandes amplitudes, ≥ 90 dB, e de baixa frequência, < 500 Hz incluindo os infrassons, causa uma doença sistémica denominada doença vibroacústica (DVA), sendo esta uma patologia não-auditiva. Esta doença afeta vários órgãos e tecidos, particularmente o aparelho cardiovascular e o respiratório, mas afetando também o sistema nervoso e o imunitário [4];[18].

A sintomatologia associada à DVA traduz-se numa panóplia dos mais diversos sintomas, entre eles, cansaço, alteração da qualidade do sono, aumento do nível de stress tanto a nível psíquico como físico, distúrbios no sistema gastrointestinal, disfunção do sistema endócrino, hipersensibilidade ao som, sensação de hiperacústica, irritabilidade, sensação de ansiedade, falta de ar em ambientes fechados, palpitações cardíacas, tosse, garganta irritada e rouquidão súbita [8]. Estes sintomas podem muitas vezes ser associados a outras patologias, sendo de extrema importância a existência de uma maior rastreabilidade relativamente à DVA.

A DVA foi definida após uma sequência de diversos longos estudos [2];[4], tendo um deles incidido sobre a saúde de alguns técnicos de aeronáutica no contexto da sua exposição a IRBF, no qual foi comprovado o desenvolvimento de várias patologias; tosse, bronquite, infeções na nasofaringe, em fumadores e em não fumadores; após uma exposição de 4 anos. Foi também conduzido um estudo onde se concluiu a existência de alterações no aparelho respiratório de modelos animais, após simular uma exposição ocupacional a IRBF (8 horas/dia, 5 dias/semana, e fins de semana em silêncio) [18].

Relativamente à legislação que abrange os ambientes de trabalho ruidosos, esta não é aplicável aos IRBF, pois é baseada em exposições por hora e por níveis de amplitude acústica, medidos em dB(A), tendo esta como finalidade medir os fenómenos acústicos dentro do espectro audível, desprezando assim toda a energia abaixo de 500Hz [18]. À exceção da Federação Russa, os IRBF não são contemplados nas normas internacionais aceites para a medição do ruído.

É de extrema importância que a comunidade científica olhe para os fenómenos acústicos com a mesma especificidade que o faz em relação aos fenómenos eletromagnéticos. Dentro do espectro eletromagnético, a luz apenas é visível ao olho humano, numa determinada gama de frequências e, o mesmo acontece relativamente ao espectro acústico, o som só é audível ao ouvido humano, numa gama específica de frequências (20-20000Hz). Alguns fenómenos eletromagnéticos, tais como o raio x, não são perceptíveis aos sentidos do ser humano, mas, mesmo assim, uma exposição excessiva a estes raios pode causar diversas patologias. É fundamental conhecer rigorosamente a composição das frequências de um determinado ambiente acústico [4].

Como objetivo geral de investigação iremos estudar a exposição a IRBF aos trabalhadores e utilizadores de uma linha de metropolitano.

2 Material e Métodos

2.1 Desenho de estudo

Quanto ao tipo de estudo este foi Observacional, quanto à natureza do estudo podemos classificá-lo como um estudo analítico, de linha temporal do tipo prospetivo. No que diz respeito ao Nível do Conhecimento, o nosso estudo enquadra-se no nível II – Descritivo Correlacional. A recolha de dados decorreu numa linha de metropolitano.

2.2 População e amostra

O Universo de estudo foram os trabalhadores e utilizadores de linhas de Metro. O método de amostragem aplicado foi do tipo não probabilístico e quanto as técnicas a mesma foi por quotas e por conveniência. Quanto ao tamanho da amostra esta resultou em 700 medições, realizadas em 14 locais.

2.3 Instrumentos e recolha de dados

O processo de recolha de dados analíticos foi efetuado com recurso ao equipamento de medição CESVA, modelo SC420, este vem equipado com um microfone modelo C-140, e respetivo protetor antivento PV009. Este sonómetro possui também um calibrador acústico de classe 1, da marca CESVA, modelo CB006. [14]

Este equipamento grava com precisão as frequências acústicas na gama 2-20000Hz, com a duração de 60 segundos, utilizando o módulo de “Análise FFT” (Fast Fourier Transform).

As medições foram realizadas em maio de 2024, as condições climatéricas no período da manhã foram céu nublado e, no período da tarde, foram sol e céu descoberto.

No interior da carruagem o sonómetro foi posicionado no centro da mesma, e a medição foi realizada aquando do funcionamento da mesma. No exterior o sonómetro foi posicionado a cerca de 1 metro do solo, e a medição foi realizada aquando da passagem do metro.

Após as medições, os dados recolhidos pelo sonómetro foram extraídos para um computador utilizando o software CesvaLab versão 5.6, permitindo assim a sua visualização numérica e gráfica.

Foi também calculado o nível de pressão sonora global (SPL global), considerando as frequências de 2-100Hz, tendo por base a Portaria n.º 182/2006 de 6 de setembro. [7]

2.4 Análise estatística

A abordagem estatística deste estudo foi realizada após a recolha de dados. Para a mesma análise recorreu-se software especializado para o tratamento de dados (IBM SPSS Statistics versão 29.0). No que diz respeito ao tratamento da informação aplicaram-se decisões de estatística descritiva.

3 Resultados

Procuramos apresentar de forma descritiva as medições em função da tipologia/ambiente avaliado. Vejamos a Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da amostra por tipologia

Tipologia	n	%
Superfície	200	28,6
Subterrâneo	450	64,3
Exterior	50	7,1
Total	700	100

Das 700 amostras recolhidas, verificou-se que a maior proporção de medições foi realizada em troços subterrâneos, com 450 medições, representando 64,3% do total. Esta proporção foi significativamente superior à das medições realizadas nos troços à superfície, que foram 200 medições, correspondendo a 28,6% do total. A menor proporção de medições foi no exterior, com apenas 50 medições, representando 7,1% do total.

Também se procurou compreender o comportamento do valor SPL em função da tipologia do troço e do período do dia. Vejamos a tabela 2:

Tabela 2 – Valor do SPL global em função da tipologia e do período do dia

Tipologia/ Período do dia	SPL Global
Superfície	93,6 dB
Subterrâneo	100 dB
Exterior	71,2 dB
Manhã	99 dB
Tarde	96,1 dB

Através da Tabela 2 podemos constatar que, quando comparados os níveis de ruído nos diferentes ambientes, registaram-se diferenças. O nível de ruído nos troços subterrâneos foi significativamente mais elevado (100 dB) em comparação aos troços à superfície (93,6 dB). No ambiente exterior, os níveis de ruído apresentam ser menores (71,2 dB).

No que se refere aos períodos do dia, verificou-se que os níveis de ruído pela manhã foram de 99 dB, enquanto à tarde foram de 96,1dB, indicando que existe uma maior exposição ao ruído no período da manhã.

Vejamos a Tabela 3 no que diz respeito à quantificação dos valores de som, em dB Linear, em função da frequência abrangida pela legislação da Federação Russa, e do local onde ocorreu a medição.

Calculou-se o SPL global de IRBF para cada local de medição de modo a compreender o nível de ruído a que os utilizadores do metro estão expostos, e a perceber em que casos existe uma maior exposição ao ruído, que pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores, em dB, por frequência, obtidos em cada local de medição

Local	2 Hz	4 Hz	8 Hz	16 Hz
Plataforma 1	63,4 dB	61,9 dB	62,5 dB	65,1 dB
Plataforma 2	61,8 dB	60,9 dB	57,1 dB	64,8 dB
Troço 1	84,6 dB	81,7 dB	76,4 dB	74,4 dB
Troço 2	87,5 dB	82,3 dB	77,8 dB	77,1 dB
Troço 3	85,6 dB	82,5 dB	76,2 dB	80,1 dB
Troço 4	87,7 dB	82,1 dB	79,2 dB	78,8 dB
Troço 5	89,1 dB	83,0 dB	81,3 dB	80,6 dB
Troço 6	91,9 dB	86,6 dB	80,3 dB	76,5 dB
Troço 7	89,4 dB	83,8 dB	86,6 dB	79,3 dB
Troço 8	72,6 dB	74,0 dB	79,8 dB	76,9 dB
Troço 9	87,4 dB	81,7 dB	81,3 dB	77,3 dB
Troço 10	90,8 dB	87,8 dB	76,2 dB	78,6 dB
Troço 11	77,7 dB	74,9 dB	74,7 dB	75,6 dB
Exterior	66,9 dB	63,6 dB	57,5 dB	59,5 dB

Também propusemos compreender o comportamento do valor máximo de ruído (dB) perante os valores limites de referência pela norma internacional. Vejamos a Tabela 4:

Tabela 4 – Valor máximo de ruído (dB) em função dos valores limite estabelecidos pela norma da Federação Russa, relativos a trabalhos de tensão emocional e intelectual

Frequência	Valor máximo	Norma	d
2 Hz	91,9 dB	95 dB	-3,1
4 Hz	87,8 dB	90 dB	-2,2
8 Hz	86,6 dB	85 dB	1,6
16 Hz	80,6 dB	80 dB	0,6

Segundo a Tabela 4, verificámos que os valores limite foram ultrapassados nas frequências 8Hz e 16Hz. Os valores máximos das frequências 2Hz e 4Hz não ultrapassam os limites estabelecidos pela norma, mas estando muito próximo deste, devem ser tomados em consideração.

À luz da estratégia anterior, também avaliamos o valor de ruído em função da respetiva frequência (Hz) e comparando-o com os valores limites de referência pela norma internacional. Vejamos a Tabela 5:

Tabela 5 – Valor de ruído (dB) no exterior em função dos valores limite estabelecidos pela norma da Federação Russa, relativos a zonas povoadas e habitações e locais públicos, respetivamente

Frequência	Valor Exterior	Norma	d
2 Hz	91,9 dB	90 dB	-23,1
		75 dB	-8,1
4 Hz	87,8 dB	85 dB	-21,4
		70 dB	-6,4
8 Hz	86,6 dB	80 dB	-22,5
		65 dB	-7,5
16 Hz	80,6 dB	75 dB	-15,5
		60 dB	-0,5

Os limites apresentados na Tabela 5 foram aplicados às zonas povoadas, habitações e locais públicos. Os valores de ruído analisados foram apenas referentes à medição realizada no exterior. Conforme a informação nessa Tabela, podemos afirmar que os limites estabelecidos pela norma não foram ultrapassados. Pesa embora o facto de que para a frequência de 16Hz, o valor máximo (59,5 dB), esteve muito próximo ao limite definido para habitações e locais públicos, ficando apenas a uma diferença de 0,5 dB.

4 Discussão

Após análise dos resultados obtidos, podemos afirmar que a exposição a IRBF difere de acordo com a tipologia do local, sendo mais acentuada no interior do metro nos troços subterrâneos (100 dB) do que nos troços à superfície (93,6 dB), sendo que no exterior a exposição é menor (71,2 dB).

O ruído transmitido pelo solo acompanha, normalmente, a vibração transmitida pelo mesmo. As vibrações produzidas pelos carris das linhas subterrâneas, foram identificadas como um problema posteriormente às linhas à superfície, tendo estas recebido mais atenção recentemente. A propagação destas vibrações é dependente do tipo de solo em que se propagam, é comprovado que em zonas com solos rígidos a frequência de vibração dominante é de cerca de 50Hz, sendo o ruído transmitido pelo solo mais importante que a vibração. E contrapartida, em zonas em que o solo é menos rígido, por exemplo solos argilosos, a frequência de vibração dominante é cerca de 5Hz sendo, nestes casos, a vibração mais importante que o ruído. É importante ter em consideração o tipo de solo, pois este é um fator que afeta diretamente o desempenho de futuras medidas de atenuação e mitigação. Nas linhas à superfície existe uma propagação das ondas sonoras tanto a nível atmosférico, como pelo solo através das vibrações, enquanto nas linhas subterrâneas as ondas sonoras propagam-se maioritariamente pelo solo [15], podendo ser assim explicada a diferença significativa existente entre os valores de ruído obtidos entre as linhas à superfície e subterrâneas.

Podemos afirmar também que a exposição a IRBF difere de acordo com o período do dia, sendo esta maior no período da manhã (99 dB) do que no período da tarde (96,1 dB). É importante ressaltar que as medições foram realizadas entre as 11h e as 15h, não abrangendo assim as horas de ponta, onde a afluência de utilizadores expecta-se ser mais elevada. Estes resultados diferem com os de um estudo realizado em 2017, onde foi concluído que não existe diferença significativa entre os níveis de ruído de manhã e à tarde [12].

A profissão de maquinista de Metro pode ser considerada como um trabalho “de tensão emocional e intelectual” e, de acordo com os valores de limite de exposição apresentados na tabela 1 que utilizámos como referência, os maquinistas estão expostos a valores que ultrapassam os limites estabelecidos, nas frequências 8Hz e 16Hz. Relativamente às frequências 2 Hz e 4Hz, os valores tomados como limite não são ultrapassados, mas estão muito perto do limite, suscitando preocupação.

Estes resultados vão ao encontro aos de um estudo realizado em 2022, que possui uma amostra da mesma natureza, onde são igualmente constatados elevados níveis de ruído ocupacional [18].

É evidente que os maquinistas estão expostos a elevados níveis de IRBF, e esta exposição resulta em efeitos negativos para a saúde humana, podendo uma longa exposição aos mesmos levar ao desenvolvimento de doenças vibroacústicas (DVA).

Estudos realizados em trabalhadores expostos a elevados níveis de IRBF demonstram que, estes têm maior predisposição a doenças do foro cardiovascular, distúrbios de sono e depressão [18]. Noutro estudo foram detetados tumores malignos nos pulmões de pilotos de helicópteros, os quais também estiveram expostos a elevados níveis de IRBF [17]. Num dos estudos mais completos sobre a exposição de trabalhadores a IRBF, realizado em técnicos de aeronáutica, foi observado um conjunto de sintomas associado ao tempo de exposição.

Numa exposição de 1-4 anos foram identificadas ligeiras alterações de humor, indigestão e pirose, infeções da orofaringe e bronquite; numa exposição de 4-10 anos foram identificadas dores no peito, alterações do humor bem definidas, dores lombares, fadiga, infeções da pele por fungos, vírus e parasitas, inflamação da superfície gástrica, dor a urinar e sangue na urina, conjuntivite e alergias; numa exposição superior a 10 anos, considerada uma fase clínica severa, foram identificados distúrbios psiquiátricos, hemorragias da conjuntiva e dos epitélios nasal e digestivo, varizes e hemorroidas, úlceras duodenais, colon espástico, decréscimo na acuidade visual, cefaleias, dores articulares e musculares intensas e alterações neurológicas [3].

Como já referido, a exposição a IRBF acarreta consequências para a saúde, especificamente a exposição a ruído gerado por transporte ferroviário, podendo incluir o metro nesta categoria pois este desloca-se por carris, está associada a alterações da pressão arterial das pessoas expostas, outro estudo comprova que as pessoas com maior sensibilidade ao ruído, maior irritabilidade e maior incómodo têm valores de pressão arterial mais elevados comparativamente a quem não apresenta esta sintomatologia [1].

Constatou-se que, para a frequência 16Hz, o valor máximo (59,5 dB), está muito próximo ao limite definido para habitações e locais públicos (60 dB). Este dado suscita preocupação pois as linhas de metro percorrem, normalmente, as cidades e estão rodeadas de espaços públicos e habitacionais.

5 Conclusões

Os resultados neste estudo sobre a exposição a IRBF são de grande importância tanto a nível da saúde pública, como para a saúde ocupacional. A análise dos dados revelou que os níveis de ruído nos troços subterrâneos são significativamente mais elevados do que nos troços à superfície e no exterior, alcançando um nível de pressão sonora global de 100dB. Estes níveis de exposição são preocupantes, uma vez que a exposição prolongada a IRBF está associada ao desenvolvimento de DVA.

Concluimos que os trabalhadores da linha de metropolitano, especialmente os maquinistas, estão expostos a níveis significativos de IRBF, com maiores picos de exposição ocorrendo durante o período da manhã. Estes resultados vão de encontro a estudos anteriores que relacionam a exposição prolongada a IRBF com efeitos adversos à saúde, incluindo distúrbios cardiovasculares e respiratórios, além de impacto no sistema nervoso e imunológico.

Apesar de os resultados corroborarem a literatura existente sobre os perigos da exposição a IRBF, este estudo destaca a necessidade urgente de atualizar a legislação portuguesa para incluir regulamentações específicas para a exposição a IRBF.

Há uma necessidade de implementar medidas de mitigação do ruído na linha de metropolitano de modo a reduzir a emissão de IRBF. Além disso, é importante realizar avaliações de saúde regulares aos trabalhadores expostos e apostar em desenvolver programas de conscientização sobre os riscos dos IRBF.

Para investigações futuras, recomenda-se a ampliação da amostra e a inclusão de um maior número de locais de medição para uma melhor representatividade. Devem também explorar as estratégias de mitigação mais eficazes para reduzir a exposição ao IRBF. Além disso, estudos mais longos seriam valiosos para avaliar os efeitos a longo prazo da exposição a IRBF nos trabalhadores e utilizadores do metro. É de extrema relevância fazer um levantamento dos sintomas que os trabalhadores do metropolitano possam sentir, relativos à DVA. Finalmente, é essencial promover a criação de normas internacionais que reconheçam e regulem os limites de exposição a IRBF, de modo a assegurar a saúde e segurança ocupacional em ambientes ruidosos.

Referências

- [1] Alves, J. A., Paiva, F. N., Silva, L. T., & Remoaldo, P. (2020). Low-frequency noise and its main effects on human health-A review of the literature between 2016 and 2019. Em *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Número 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10155205>
- [2] Alves-Pereira, M. (1999). Noise-induced extra-aural pathology: A review and commentary. *Official Journal of the Aerospace Medical Association*, 70.
- [3] Alves-Pereira, M., & Castelo Branco, N. (2010). A doença vibroacústica : revisão de conceitos. <https://www.researchgate.net/publication/277877024>
- [4] Alves-Pereira, M., & Castelo Branco, N. A. A. (2007). Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. Em *Progress in Biophysics and Molecular Biology* (Vol. 93, Números 1–3, pp. 256–279). <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2006.07.011>
- [5] Berglund, B., Hassmén, P., & Job, R. F. S. (1996). Sources and effects of low-frequency noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 99(5), 2985–3002. <https://doi.org/10.1121/1.414863>
- [6] Cavacece, M. (2023). The Noise of Rail Transport. *Journal of Physics: Conference Series*, 2590(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2590/1/012008>
- [7] Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro. (2006). Em *Diário da República*, 1.ª série — N.º 172 — 6 de Setembro de 2006 (pp. 6584–6593).
- [8] Dragan, S., & Bogomolov, A. (2023). Methodological Aspects of Industrial and Transport Noise Monitoring. www.intechopen.com
- [9] Friedrich, B., Joost, H., Fedtke, T., & Verhey, J. L. (2023). Effects of infrasound on the perception of a low-frequency sound. *Acta Acustica*, 7, 60. <https://doi.org/10.1051/aacus/2023061>
- [10] Gershon, R. R. M., Qureshi, K. A., Barrera, M. A., Erwin, M. J., & Goldsmith, F. (2005). Health and safety hazards associated with subways: A review. Em *Journal of Urban Health* (Vol. 82, Número 1, pp. 10–20). <https://doi.org/10.1093/jurban/jti004>
- [11] Hupe, P., Ceranna, L., Le Pichon, A., Matoza, R. S., & Mialle, P. (2022). International Monitoring System infrasound data products for atmospheric studies and civilian applications. *Earth System Science Data*, 14(9), 4201–4230. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4201-2022>
- [12] Lee, D., Kim, G., & Han, W. (2017). Analysis of subway interior noise at peak commuter time. *Journal of Audiology and Otology*, 21(2), 61–65. <https://doi.org/10.7874/jao.2017.21.2.61>
- [13] Mao, D., & Shao, Z. (2012). Annoyance criterion for subway induced low frequency noise in buildings.
- [14] Nuno Freitas de Almeida, J., & Mariana Alves-Pereira, M. (2018). ANÁLISE GEOGRÁFICA DO RISCO DE EXPOSIÇÃO A INFRASSONS E RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA, COM ORIGEM EM TURBINAS EÓLICAS.
- [15] Paul de Vos, Satis., & Unión Internacional de Ferrocarriles. (2017). Railway induced vibration - State of the art report. UIC-ETC (Railway Technical Publications).
- [16] Pawlaczyk-Luszczynska, M., & Dudarewicz, A. (2022). Review of evaluation criteria for infrasound and low frequency noise in the general environment. Em *New techniques and methods for noise and vibration measuring, assessing and reducing*. Digital Monograph. Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy.

https://doi.org/10.54215/noise_control_2022_a_digital_monograph_pawlaczyk-luszczynska_m_dudarewicz_a

- [17] Reis Ferreira, J., Mendes, C. P., Alves-Pereira, M., & A Castelo Branco, N. A. (2006). Carcinomas epidermóides do pulmão na doença vibroacústica.
- [18] Stefurn, R., Matos, M., & Alves-Pereira Mariana. (2022). QUANTIFICAÇÃO DE RUÍDO DE BAIXA FREQUÊNCIA E INFRASSONS NOS MAQUINISTAS DO «METRO DO PORTO»-CONTRIBUIÇÕES OCUPACIONAIS.
- [19] Stepanov, V. (2000). Biological effects of low frequency acoustic oscillation and their hygienic regulation.
- [20] Thompson, D. J., Kouroussis, G., & Ntotsios, E. (2019). Modelling, simulation and evaluation of ground vibration caused by rail vehicles.