

SELEÇÃO OTIMIZADA DE DOSÍMETROS DE RUÍDO NA SEGURANÇA DO TRABALHO USANDO O MÉTODO TOPSIS

André Luiz de Brito Alves ⁽¹⁾ (andre.brito@ifb.edu.br), Flávio Trojan ⁽²⁾ (flaviotrojan@ufpr.edu.br), Vinicius Moretti ⁽³⁾ (viniciusmoretti@alunos.ufpr.edu.br)

⁽¹⁾ UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR); Departamento de Engenharia de Produção

⁽²⁾ UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR); Departamento de Engenharia de Produção

⁽³⁾ UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR); Departamento de Engenharia de Produção

RESUMO: A crescente preocupação com a exposição ao ruído ocupacional torna essencial garantir medições precisas dos níveis de ruído nos ambientes de trabalho para assegurar a Segurança e Saúde dos Trabalhadores (SST) e cumprir as normativas legais. O objetivo deste estudo foi aplicar a técnica multicritério TOPSIS como ferramenta para a escolha de dosímetros de ruído ocupacional. A pesquisa avaliou seis modelos de dosímetros com base em critérios técnicos e operacionais, utilizando dados fornecidos pelos fabricantes e opiniões de especialistas em SST. Ao todo, 23 avaliadores participaram do processo. Os resultados mostraram que os modelos avaliados se destacaram em critérios como precisão, tempo de resposta e custo-benefício. A análise de sensibilidade indicou que alterações nos pesos dos critérios superiores a 42% impactam a seleção de dosímetros. Com a aplicação da técnica TOPSIS, verificou-se que os modelos 1 e 6 apresentaram os maiores Índices de Proximidade Relativa entre os critérios estabelecidos pelos especialistas.

PALAVRAS-CHAVE: SEGURANÇA DO TRABALHO, RUÍDO OCUPACIONAL, DOSÍMETRO DE RUÍDO, SAÚDE DO TRABALHADOR; TOPSIS

OPTIMIZED SELECTION OF NOISE DOSIMETERS IN OCCUPATIONAL SAFETY USING THE TOPSIS METHOD: A MULTI-CRITERIA APPROACH

ABSTRACT: The increasing concern with occupational noise exposure makes it essential to ensure accurate noise level measurements in work environments to protect worker safety and health (OSH) and comply with legal standards. This study aimed to apply the TOPSIS multicriteria technique as a tool for selecting occupational noise dosimeters. The research evaluated six dosimeter models based on technical and operational criteria, using data provided by manufacturers and feedback from OSH specialists. A total of 23 evaluators participated in the process. The results indicated that the evaluated models stood out in criteria such as accuracy, response time, and cost-effectiveness. The sensitivity analysis showed that changes of more than 42% in the weights of the criteria significantly impact the selection of dosimeters. Through the application of the TOPSIS technique, it was found that Models 1 and 6 had the highest Relative Proximity Indexes among the criteria established by the specialists.

KEYWORDS: OCCUPATIONAL SAFETY, OCCUPATIONAL NOISE, NOISE DOSIMETER, WORKER HEALTH, TOPSIS

1. INTRODUÇÃO

A exposição ao ruído ocupacional é uma das preocupações mais comuns no ambiente de trabalho (JACOBS et al., 2020). Segundo o Ministério do Trabalho, através do portal da Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT), a exposição inadequada ao ruído é uma das causas significativas de acidentes de trabalho. Entre os anos de 2014 e 2021, no Brasil, registrou-se uma média anual de 22.739 acidentes de trabalho, dos quais, em média, 540 resultaram em fatalidades (BRASIL, 2024).

Neste contexto, engenheiros e técnicos em segurança do trabalho enfrentam um dilema sobre o uso ou aquisição do dosímetro: devem eles empregá-lo para cumprir a legislação trabalhista que inclui a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e as Normas Regulamentadoras (NR), ou devem atender à legislação previdenciária abrangendo as instruções normativas (IN) e o Laudo das Condições do Ambiente de Trabalho (LTCAT)? Há ainda a possibilidade de adotar uma abordagem focada na Higiene Ocupacional independentemente dessas legislações. Determinar a estratégia mais eficaz para a escolha do equipamento auxilia uma dosimetria de ruído adequada e ajuda as organizações diretamente no cumprimento das atividades relacionadas à segurança e saúde no ambiente de trabalho.

Atualmente, há diferentes opções de medidores de ruído; contudo, a escolha deve ser guiada por critérios específicos para garantir eficácia e precisão nas medições. A Norma de Higiene Ocupacional 01 (NHO 01), desenvolvida pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO, e a Norma ANSI S1.25-1991 indicam os parâmetros básicos para esses instrumentos. Estas normas asseguram que os medidores integradores de ruído possuam a precisão necessária para avaliações confiáveis da exposição ocupacional ao ruído (FUNDACENTRO, 2001).

A crescente necessidade de metodologias eficazes na área de Segurança e Saúde do Trabalho (SST) torna-se cada vez mais evidente. Está impulsionada pela exigência de cumprir normas legais e assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores. A diversidade de modelos de dosímetros disponíveis, cada um com características técnicas, operacionais e ergonômicas distintas, torna a escolha do equipamento desafiadora. Uma escolha inadequada pode resultar em medições imprecisas, comprometendo a implementação de medidas preventivas ou corretivas e a conformidade com as normas legais e de higiene do trabalho.

A precisão dos resultados obtidos em exposições a ruídos é relativa e sujeita a erros, especialmente quando depende de informações fornecidas pelos trabalhadores, como o tempo de exposição e a realização das medições (WARRINGTON; MCLOUGHLIN, 2005). Conforme destacado por Smalt *et al.* (2017) em seu estudo sobre dosimetria em ambientes táticos, a exatidão dos dispositivos de medição é essencial para garantir que os níveis de exposição ao ruído sejam avaliados corretamente, minimizando, assim, o risco de lesões auditivas. Em ambientes industriais, essa variabilidade

nas medições pode comprometer a aplicação das normas de higiene e segurança do trabalho, reforçando a importância de selecionar um dosímetro de ruído.

Para definir qual o melhor aparelho, foi utilizada a técnica de tomada de decisão multicritério, proposta em 1981, e chamada de Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade à Solução Ideal (TOPSIS). Esta propõe que a alternativa preferida deve estar o mais próximo da solução ideal positiva e o mais longe da solução ideal negativa. A primeira solução é formada pela combinação dos melhores pontos de cada critério, enquanto a solução negativa é aquela que combina os piores pontos de cada critério. A aplicação desta técnica é recomendada para o conjunto de dados numéricos nos quais os pesos de importância dos critérios são conhecidos ou definidos a partir da opinião de especialistas. É feito um cálculo numérico e os resultados do *ranking* podem ser obtidos a partir do peso de importância de cada critério (HWANG; CHING-LA; YOON, 1981).

1.1. Objetivo

O objetivo deste artigo é aplicar a técnica multicritério TOPSIS como ferramenta para a escolha de dosímetro de ruído ocupacional.

1.2. Justificativa

A segurança e saúde no trabalho são essenciais, especialmente devido aos altos índices de problemas relacionados à exposição ao ruído. Segundo um estudo de LIE *et al.* (2016), a exposição ao ruído ocupacional causa entre 7 e 21% da perda auditiva entre trabalhadores, com menor incidência em países industrializados e maior em países em desenvolvimento. No Brasil, a Norma Regulamentadora NR 15 – Atividades e Operações Insalubre, estabelece limites para exposição ao ruído (BRASIL, 1978), mas a implementação eficaz dessa norma depende de medições precisas e confiáveis.

A justificativa desta pesquisa é fornecer aos profissionais de SST uma alternativa para a seleção de dosímetros de ruído, utilizando a técnica TOPSIS para auxiliar na escolha de equipamentos que garantam medições precisas e estejam em conformidade com as normas legais vigentes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Identificação dos Modelos de Dosímetros

Para selecionar o dosímetro de ruído para avaliações de ruído ocupacional realizou-se uma

análise detalhada de seis dosímetros de ruído. Estes dispositivos incluíram modelos de marcas reconhecidas tanto no mercado nacional quanto internacional. Conforme indicado nos manuais desses equipamentos, todos possuíam calibração com rastreabilidade pela Rede Brasileira de Calibração (RBC) e atendiam às normas ANSI S1.25-1991 e a NHO 01. Em colaboração com profissionais da área de SST, adotou-se critérios qualitativos e uma escala numérica variando de 0 a 5. Este processo buscou entender como as diferentes percepções sobre critérios podem influenciar na escolha dos dosímetros de ruído.

2.1.1. Anonimização dos Modelos

Com o intuito de preservar a imparcialidade da pesquisa e evitar qualquer viés relacionado aos fabricantes, os modelos foram identificados numericamente, de 1 a 6, sem a menção das marcas.

2.2. Critérios de Avaliação

Os critérios selecionados para a avaliação dos dosímetros foram definidos após consulta com especialistas na área de SST. Observou-se que muitos dos critérios propostos inicialmente eram similares. Assim, foi necessário agrupá-los e refiná-los para obter uma lista final de critérios peculiares para a escolha dos aparelhos. Os critérios considerados estão descritos abaixo:

- 1) **Análise de frequência:** Segmenta o espectro de frequência, melhorando significativamente a qualidade das dosimetrias. Os dosímetros podem ser fornecidos sem análise de frequência ou incluir essa funcionalidade, possibilitando assim a realização de análises nas bandas de oitava ou bandas de terça de oitava.
- **Bandas de oitava:** Essas bandas segmentam o espectro de frequência seguindo uma regra de razão de largura de banda igual, especificamente numa proporção de 2:1. Isto significa que a frequência mais alta de cada banda é o dobro da mais baixa. Por exemplo, uma banda que começa em 1000 Hz estenderá até 2000 Hz. Este método é amplamente utilizado no design de componentes para controle de ruído, pois oferece uma visão abrangente e eficaz das características do ruído em uma vasta gama de frequências (EMERY; LI; BILGIN, 2021).
- **Banda de terça de oitava:** Oferece uma subdivisão mais minuciosa, dividindo cada banda de oitava em três segmentos menores. Cada segmento cobre um terço da largura total da banda de oitava, seguindo a mesma regra de proporção, mas numa escala mais detalhada. Esta abordagem é extremamente útil para análises detalhadas

que exigem a identificação e o tratamento de frequências específicas, facilitando uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos de geração de som e ajudando na formulação de estratégias de redução de ruído mais eficazes (EMERY; LI; BILGIN, 2021).

As bandas de terça de oitava são mais adequadas para situações em que detalhes mais finos sobre a frequência e sua resposta são críticos, enquanto as bandas de oitava são preferidas para uma visão mais generalizada e abrangente.

- 2) **Microfone** - Este dispositivo capta o som e converte as ondas sonoras em sinais elétricos. Os modelos disponíveis nos dosímetros são três:
 - **Microfone MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*)**: Dispositivos micro-eletromecânicos que integram um transdutor acústico em um pacote de chip pequeno (CROCKER, 2007). Estes utilizam tecnologias de fabricação de semicondutores e são conhecidos por seu tamanho reduzido e alta resistência a condições ambientais adversas. Possuem tamanho compacto e integração fácil em dispositivos eletrônicos; baixo consumo de energia e boa resposta em frequência. São eficientes para aplicações de dosimetria devido à sua robustez e precisão em ambientes variados, mas podem ser limitados pela sensibilidade a baixas frequências e pelo ruído de fundo em certas configurações (MALCOVATI, 2023).
 - **Microfone Condensador**: utilizam uma cápsula de condensador composta por um diafragma que vibra perto de uma placa traseira, formando um capacitor. São alimentados por uma fonte de tensão externa e são valorizados pela alta qualidade de áudio (CROCKER, 2007). Estes modelos têm alta sensibilidade e resposta de frequência ampla; excelente para captura de detalhes sonoros sutis, ideal para gravações de alta fidelidade. Embora ofereçam excelente captação de som e detalhamento de frequência, sua sensibilidade pode captar ruído de fundo, o que pode ser um desafio sem o tratamento acústico adequado.
 - **Microfone de Eletreto** têm uma carga elétrica permanente incorporada no material do diafragma, o que elimina a necessidade de uma fonte de alimentação externa contínua. Possuem custo relativamente baixo e manutenção simples; boa qualidade de som e menor necessidade de energia externa. São práticos e versáteis para uso geral, mas podem não alcançar a mesma fidelidade ou precisão em altas frequências como os microfones condensador (MALCOVATI, 2023).
- 3) **Tempo de resposta**: os dosímetros de ruído, assim como outros tipos de medidores de nível sonoro, podem utilizar diferentes configurações de tempo de resposta para medir a variação da pressão sonora. Essas configurações: Rápida (*Fast*), Lenta (*Slow*)

e Impulso (*Impulse*) ajudam a avaliar o som de forma que melhor se adapta às características do ruído que está sendo monitorado.

- 4) **Comunicação:** refere-se às capacidades do dosímetro de transferir dados para outros dispositivos ou sistemas. Isso pode incluir conexões via *USB*, *Bluetooth* ou *Wi-Fi*, facilitando a gestão e análise dos dados coletados.
- 5) **Capacidade de memória:** determina quanto dados o dosímetro pode armazenar. Isto é particularmente importante em avaliações de longa duração, nas quais não é viável descarregar os dados frequentemente.
- 6) **Autonomia da bateria:** é um fator chave, pois um maior tempo de operação sem necessidade de recarga permite o uso contínuo do equipamento em períodos extensos de medição.
- 7) **Display:** ajuda os usuários a interagirem com o equipamento mais eficientemente. Um bom *display* pode mostrar informações importantes de forma clara, permitindo ajustes rápidos e precisos no campo. A maioria dos modelos de dosímetros de ruído dispõem de telas OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) ou LCD (*Liquid Crystal Display*) com telas variando de 1,23 a 2,40 polegadas.
- 8) **Custo:** O custo de um dosímetro de ruído reflete a tecnologia avançada utilizada para medições precisas. Este critério é essencial, pois afeta a viabilidade econômica da aquisição. Em um cenário com diversos modelos, a relação custo-benefício é decisiva, principalmente para organizações que precisam equilibrar desempenho técnico e restrições orçamentárias.

2.3. Atribuição de Pesos aos Critérios

Cada critério foi ponderado de acordo com a importância atribuída por um painel de especialistas em SST, cujas opiniões foram coletadas através de questionário estruturado via *Google Forms*. Este método garantiu uma avaliação objetiva e sistemática das opções disponíveis. Participaram do estudo dois grupos distintos, totalizando 23 profissionais de SST com experiência entre 0 e 10 anos.

Grupo 1: Composto por 11 Técnicos de Segurança do Trabalho (TST).

Grupo 2: Composto por 12 Engenheiros de Segurança do Trabalho (EST) da Associação Brasileira de Engenharia de Segurança do Trabalho (ABRAEST).

Os pesos atribuídos a cada critério pelos dois grupos estão apresentados na Tabela 1 dos resultados.

Os critérios utilizados pelos avaliadores e suas justificativas estão apresentados no Quadro 1, que foi utilizado para orientar a decisão.

QUADRO 1. Justificativa dos critérios

#	Critério	Justificativa	Unidade	Método de avaliação	Objetivo do critério
C1	Análise de Frequência	Essencial para segmentar o espectro de frequência, elevando a qualidade das dosimetrias.	1-3 pontos	Qualitativa	Maximizar
C2	Microfone	Influencia diretamente a precisão e a confiabilidade das medições de ruído.	1-3 pontos	Qualitativa	Maximizar
C3	Tempo de Resposta	Determina como o dispositivo mede as variações de pressão sonora ao longo do tempo.	1-3 pontos	Qualitativa	Maximizar
C4	Capacidade de Memória	Determina quanto dados o dosímetro pode armazenar.	Bits	Quantitativa	Maximizar
C5	Comunicação	Capacidades do dosímetro de transferir dados para outros dispositivos ou sistemas.	1-3 pontos	Qualitativa	Maximizar
C6	Autonomia da Bateria	O tempo de operação sem necessidade de recarga permite o uso contínuo do equipamento em períodos extensos de medição.	Horas	Quantitativa	Maximizar
C7	Display	Ajuda os usuários a interagirem com o equipamento mais eficientemente.	Polegadas	Quantitativa	Maximizar
C8	Custo	O custo de um dosímetro de ruído reflete a incorporação de tecnologia avançada para medições precisas.	R\$ por unidade	Quantitativa	Minimizar

Fonte: Os autores (2024)

O Quadro 1 guiou a atribuição de pesos a cada critério, levando em consideração a justificativa para cada um, a unidade de medida correspondente, o método de avaliação (qualitativo ou quantitativo) e o objetivo a ser alcançado (maximizar ou minimizar).

2.4. Pontuação dos Critérios Técnicos dos Dosímetros

Para avaliar o desempenho qualitativo dos equipamentos, adotou-se uma escala numérica de 1 a 3. Os critérios avaliados estão pontuados no Quadro 2, no qual o critério recebeu uma pontuação que varia de acordo com a conformidade e eficácia de cada modelo.

QUADRO 2. Pontuação dos Critérios Técnicos dos Dosímetros

Critério	1 ponto	2 pontos	3 pontos
Análise de Frequência	Equipamentos que não incluem análise de frequência	Equipamentos com análise de frequência em bandas de oitava	Equipamentos com análise de frequência em bandas de terça de oitava.
Tipo de Microfone do dosímetro	Equipamentos que não especificam o tipo de microfone utilizado	Atribuído a microfones que oferecem funcionalidades básicas adequadas para uso geral, mas podem ter limitações em condições específicas que foram atribuídas para os microfones do tipo <i>MEMS</i> e de eletreto.	Concedido a microfones que oferecem alta qualidade de áudio e excelente resposta de frequência, sendo ideais para aplicações que exigem alta fidelidade e detalhamento preciso atribuído ao microfone condensador.
Comunicação do aparelho	Equipamentos que não especificam qualquer tipo de opção de comunicação no manual.	Atribuído a dosímetros que oferecem uma combinação de duas conexões, que podem incluir qualquer par entre <i>USB</i> , <i>Bluetooth</i> e <i>Wi-Fi</i> .	Atribuído Concedido a dosímetros que apresentam tecnologia de comunicação avançada, como <i>Zigbee</i> , especialmente se acompanhada por outras formas de conectividade como <i>USB</i> .

Fonte: Os autores (2024)

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram consolidados a partir da elicitação realizada dos dois grupos de profissionais: Técnicos de Segurança do Trabalho e Engenheiros de Segurança do Trabalho. Abaixo a Tabela 1 apresenta a síntese dos pesos atribuídos por ambos os grupos.

TABELA 1 - Julgamento dos pesos dos critérios

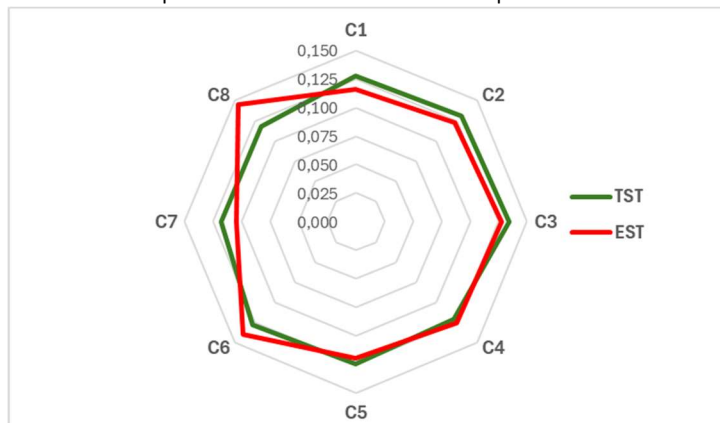
	Análise de Frequência C1	Microfone C2	Tempo de Resposta C3	Capacidade de Memória C4	Comunicação C5	Autonomia da Bateria C6	Display C7	Custo C8
TST	0,1275	0,1307	0,1340	0,1209	0,1242	0,1275	0,1176	0,1176
EST	0,1163	0,1221	0,1279	0,1250	0,1192	0,1395	0,1047	0,1453

Fonte: Os autores (2024)

Durante a etapa de levantamento dos pesos dos critérios, observou-se a proximidade e concordância entre os julgamentos dos grupos de TST e EST. Apesar das diferenças sutis nos pesos atribuídos a cada critério, os resultados de preferência revelaram um alinhamento consistente, demonstrando uma base comum de prioridades entre os dois grupos profissionais conforme descrito na

Figura 1.

FIGURA 1. Comparativo das escolhas dos pesos entre EST e TST



Fonte: Os autores (2024)

Essa coerência é importante, pois reforça a validade do processo de tomada de decisão multicritério ao revelar que, independentemente das nuances individuais de cada grupo, há um consenso sobre os equipamentos mais adequados e demonstra que ambos os grupos possuem sintonia para realizar as escolhas dos equipamentos.

Com base nesses pesos, foi construída a matriz de decisão, como detalhado na Tabela 2, que serviu para orientar a aplicação do método TOPSIS na seleção dos dosímetros em ambos os grupos pesquisados.

TABELA 2. Matriz de decisão

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Modelo 1	2	2	3	16.384	2	23	2,4	4.799
Modelo 2	3	2	3	0,0195	2	18	1,5	3.300
Modelo 3	3	2	3	16.384	3	15	2,2	8.493
Modelo 4	2	3	2	2	2	25	1,7	11.900
Modelo 5	2	2	2	0,0965	2	20	1,7	5.088
Modelo 6	3	2	3	8.192	3	60	1,5	13.015

Fonte: Os autores (2024)

Ao aplicar o método TOPSIS, observou-se que, para os técnicos, os critérios de tempo de resposta (C3) e qualidade do microfone do dosímetro (C2) foram os mais valorizados, refletindo uma ênfase na precisão e na capacidade de resposta do equipamento a variações ambientais específicas. Esse enfoque resultou em um Índice de Proximidade Relativa (CCi), conforme ilustrado na Tabela 3, onde os Modelos 1 e 6 se destacaram.

TABELA 3. Rank dos dosímetros avaliados TST

Classificação	Modelo	CCi
1	Modelo 1	0,5724
2	Modelo 6	0,5523
3	Modelo 3	0,5237
4	Modelo 2	0,3500
5	Modelo 5	0,2821
6	Modelo 4	0,2072

Fonte: Os autores (2024)

Por outro lado, os engenheiros atribuíram maior peso aos critérios de custo do equipamento (C8) e autonomia da bateria (C6), refletindo uma preocupação com a eficiência e o desempenho a longo prazo em condições operacionais contínuas. Essa preferência também apontou o Modelo 1 e o Modelo 6, conforme indicado na Tabela 4.

TABELA 4. Rank dos dosímetros avaliados EST

Classificação	EST	CCi
1	Modelo 1	0,5759
2	Modelo 6	0,5387
3	Modelo 3	0,5080
4	Modelo 2	0,3771
5	Modelo 5	0,3166
6	Modelo 4	0,1952

Fonte: Os autores (2024)

Os modelos 1 e 6 apresentaram os melhores desempenhos, destacando-se na avaliação geral. O Modelo 1, de marca nacional, se sobressaiu em critérios como tempo de resposta (C3), capacidade de memória (C4) e *display* (C7). Embora seu custo não seja o mais baixo, ele se mostrou competitivo em relação aos outros modelos.

Já o Modelo 6, o único de marca internacional, sobressaiu na maioria dos critérios, incluindo análise de frequência (C1), tempo de resposta (C3), comunicação do dispositivo (C5) e autonomia da bateria (C6). No entanto, é o modelo de maior custo no mercado. Este destaque nos critérios auxilia a escolha do equipamento, tornando o processo de decisão menos complexo diante da variedade de modelos disponíveis.

3.1. Análise de sensibilidade

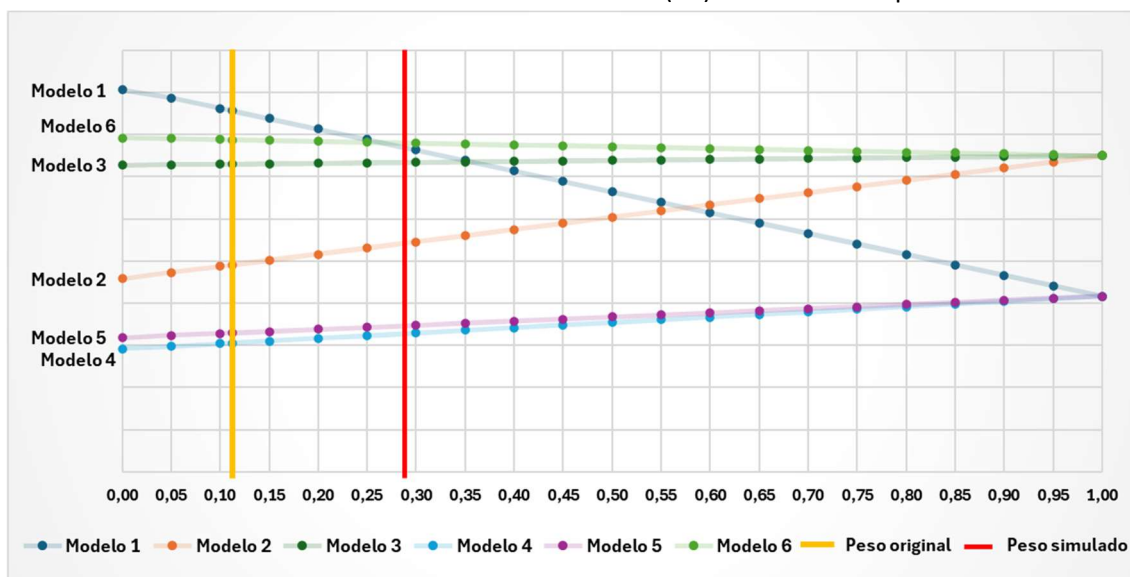
Para avaliar a consistência das escolhas dos dosímetros de ruído e compreender como as

variações nos pesos dos critérios influenciaram os resultados, foi realizada uma análise de sensibilidade nos pesos das escolhas do grupo 2. Esta análise foi importante para verificar a estabilidade das decisões diante de mudanças nas prioridades dos critérios, sendo um elemento central nos resultados obtidos.

Inicialmente, os pesos atribuídos aos critérios foram baseados na opinião de profissionais de SST, conforme descrito anteriormente. No entanto, reconhecendo que as prioridades podem variar conforme o ambiente de trabalho ou as especificidades de cada situação, a análise de sensibilidade permitiu ajustar esses pesos e observar como tais mudanças afetaram a classificação dos modelos.

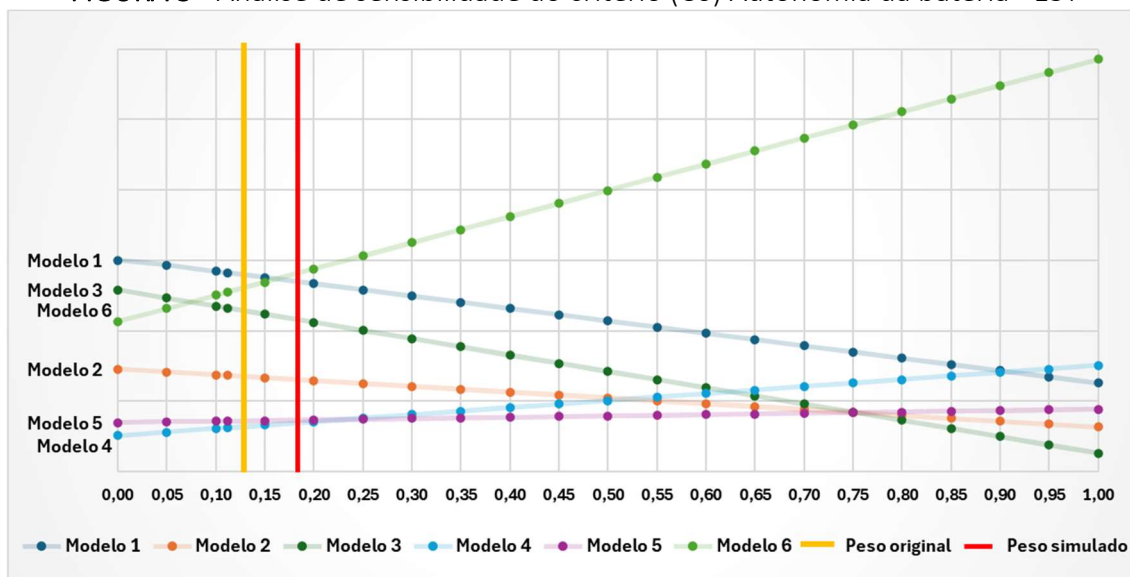
Os gráficos apresentados a seguir mostram como a modificação nos pesos dos critérios “Autonomia da bateria”, “Custo” e “Análise de Frequência” influenciou o desempenho relativo dos modelos. O eixo X de cada gráfico representa o peso do critério em análise, variando de 0 a 1, enquanto o eixo Y exibe o modelo. Linhas ascendentes ou descendentes indicam como os modelos ganharam ou perderam preferência à medida que o peso do critério foi alterado.

FIGURA 2 - Análise de sensibilidade do critério (C1) Análise de Frequência - EST



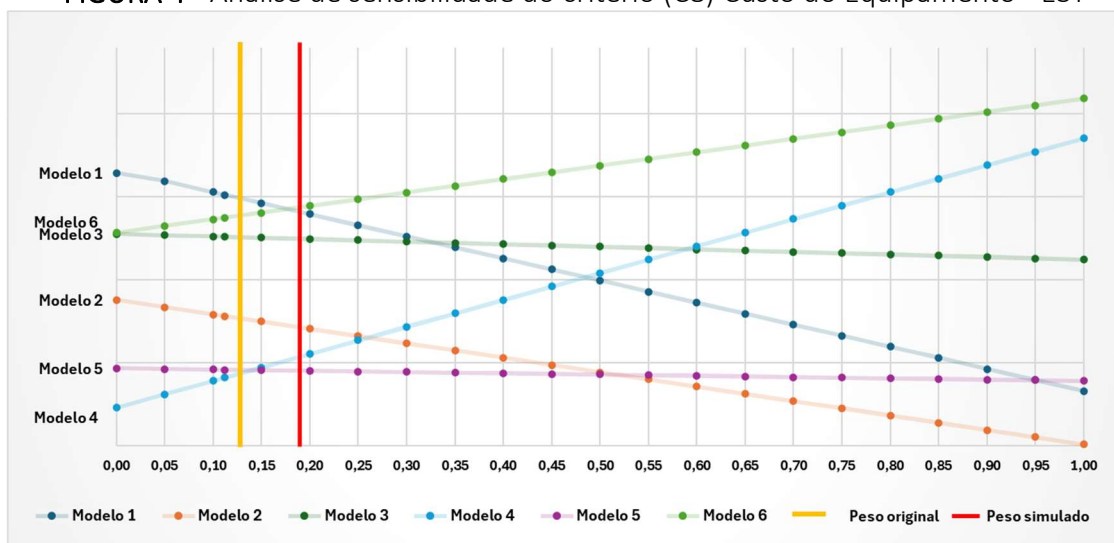
Fonte: Os autores (2024)

FIGURA 3 - Análise de sensibilidade do critério (C6) Autonomia da bateria - EST



Fonte: Os autores (2024)

FIGURA 4 - Análise de sensibilidade do critério (C8) Custo do Equipamento - EST



Fonte: Os autores (2024)

As Figuras 2, 3 e 4 mostram o impacto do aumento dos pesos dos critérios C1, C6 e C8. O critério C1, "Análise de Frequência", é particularmente relevante em situações de segurança e higiene do trabalho, nas quais detalhes sensíveis sobre a resposta em frequência das ondas sonoras são relevantes para a implementação de ações preventivas específicas, visando a proteção auditiva dos trabalhadores. A segmentação do espectro de frequência, por meio de bandas de oitava ou de terça de oitava, resulta em dosimetrias mais precisas. Os critérios C6, "Autonomia da Bateria", e C8, "Custo", foram considerados os mais importantes pelos profissionais do grupo 2 na classificação dos

modelos de dosímetros.

Os gráficos mostraram que, ao alterar os pesos dos critérios, a preferência pelos modelos também mudou, evidenciando a sensibilidade do processo de decisão a esses fatores. Quando o peso do critério C1 foi aumentado de 0,1013 para 0,2800, um aumento de aproximadamente 176%, houve uma mudança na preferência, passando do Modelo 1 para o Modelo 6. Essa alteração destacou a importância do Modelo 6 na realização de análises detalhadas em bandas de terça de oitava, essenciais para identificar frequências específicas de ruído com maior precisão.

De forma similar, quando o peso do critério C6 foi aumentado de 0,1215 para 0,180, representando uma variação de aproximadamente 48%, e o critério C8 de 0,1266 para 0,180, com uma variação de cerca de 42%, o Modelo 6 passou a ser preferido em detrimento do Modelo 1, ressaltando sua vantagem em cenários onde a autonomia da bateria e o custo são critérios decisivos.

O Quadro 3 resume as principais mudanças observadas na classificação dos modelos de dosímetro conforme os pesos dos critérios foram ajustados:

QUADRO 3. Resumo das Mudanças na Classificação dos Modelos de Dosímetro

Nº Critério	Critério Ajustado (Aumento do peso)	Modelo Preferido	Mudança de preferência
C1	Análise de Frequência	Modelo 6	Preferido em análises detalhadas, substituindo o Modelo 1 quando a precisão de frequência é prioritária
C6	Autonomia da Bateria	Modelo 6	Substituiu o Modelo 1, destacando sua importância em cenários de longa duração de uso.
C8	Custo do equipamento (C8)	Modelo 6	Preferido em contextos de alta sensibilidade ao custo, substituindo o Modelo 1.

Fonte: Os autores (2024)

Os resultados acima evidenciaram como a flexibilidade nos pesos dos critérios influenciou a classificação dos modelos de dosímetro, Isto aponta a importância de se adaptar a escolha às especificidades de cada cenário operacional.

4. CONCLUSÃO

A exposição ao ruído ocupacional exige uma escolha cuidadosa de dosímetros para assegurar a saúde e segurança dos trabalhadores. Os resultados indicaram que os modelos 1 e 6 se destacaram, atendendo aos critérios técnicos e operacionais definidos pelos profissionais de SST. O modelo 1 foi eficiente em termos de precisão e custo-benefício, enquanto o modelo 6 se mostrou mais adequado para ambientes com diferentes requisitos técnicos.

A utilização da técnica TOPSIS permitiu identificar e ponderar os critérios, demonstrando-se como uma ferramenta sistemática para a seleção de dosímetros de ruído.

A análise de sensibilidade evidenciou a importância de ajustar os pesos dos critérios conforme as necessidades específicas de cada ambiente de trabalho. Por exemplo, aumentar o peso do critério "Análise de Frequência" alterou a preferência do modelo 1 para o modelo 6, demonstrando como é essencial adaptar a seleção de dosímetros às demandas reais. Alterações superiores a 42% nos pesos dos critérios resultaram em mudanças na preferência pelos modelos de dosímetros.

Para futuras pesquisas, recomenda-se explorar outros métodos de apoio à tomada de decisão multicritério, como AHP ou ELECTRE, aplicando-os à diferentes tipos de equipamentos de Higiene Ocupacional para avaliar suas vantagens e limitações. Além disso, deve-se considerar a inclusão da abordagem *fuzzy* para tratar critérios qualitativos, assim como a introdução de novos critérios, como a facilidade de uso e a adaptabilidade dos dosímetros às novas tecnologias.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

BRASIL, M.-M. DO T. E E. NR-15 - Atividades e Operações Insalubres. Disponível em: <www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-15-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

BRASIL, M.-M. DO T. E P. S. Radar SIT - Painel de Informações e Estatísticas da Inspeção do Trabalho no Brasil. Disponível em: <<https://sit.trabalho.gov.br/radar>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

CROCKER, M. J. Handbook of noise and vibration control. [s.l.] John Wiley & Sons, Inc, 2007.

ELETRÔNICA LTDA, I. INCON - Especificações do Dosímetro de ruído - IDAC 100. Disponível em: <www.incon.com.br/produtos/seguranca-do-trabalho/dosimetro-acustico/idac-100>. Acesso em: 29 abr. 2024.

EMERY, N.; LI, Y.; BILGIN, B. Frequency-Band Analysis for Acoustic Noise Characterization of an Interior Permanent Magnet Motor. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), v. 2021-Octob, p. 1–5, 2021.

FUNDACENTRO, F. J. D. F. DE S. E M. DO T. Norma de Higiene Ocupacional - NHO 01: Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. São Paulo: Fundacentro, 2001.

HWANG; CHING-LA; YOON, K. Multiple attribute decision making: Methods and applications. [s.l.] Springer-Verlag, 1981.

INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS LTDA, C. Chrompack - Especificações do Dosímetro de ruído - SmartdB. Disponível em: <www.chrompack.com.br/produto/audiodosimetro-smartdb>. Acesso em: 30 abr. 2024.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO, C. Criffer - Especificações do Dosímetro de ruído - Sonus 3. Disponível em: <www.criffer.co.br/medidores-de-ruído/dosímetros-de-ruído/sonus-3-dosimetro-de-ruído-digital>. Acesso em: 29 abr. 2024.

INSTRUMENTOS DE MEDICAÇÃO LTDA, I. Inlite - Especificações do Dosímetro de ruído - DOSEMAX. Disponível em: <www.inlite.com.br/produto/dosemax>. Acesso em: 28 abr. 2024.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO LTDA, I. Instrutherm - Especificações do Dosímetro de Ruído - DOS-1000X. Disponível em: <www.instrutherm.com.br/dosimetro-de-ruído-dos-1000x>. Acesso em: 29 abr. 2024.

JACOBS, N. et al. Noise exposures in different community settings measured by traditional dosimeter and smartphone app. *Applied Acoustics*, v. 167, 2020.

LIE, A. et al. Occupational noise exposure and hearing: a systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 89, n. 3, p. 351–372, 2016.

MALCOVATI, P. Analog Front-End Circuits for MEMS Microphones. *Proceedings of the Custom Integrated Circuits Conference*, v. 2023- April, p. 1–8, 2023.

SMALT, C. J. et al. Noise dosimetry for tactical environments. *Hearing Research*, v. 349, p. 42 – 54, 2017.

SVANTEK. Svantek - Especificações do Dosímetro de ruído - Svantek - SV 104A. Disponível em: <www.svantek.com/pt/produtos/sv-104a-dosimetro-de-ruído>. Acesso em: 28 abr. 2024.

WARRINGTON, D. N.; MCLOUGHLIN, J. R. Evaluation of occupational noise exposure - Advantages and disadvantages of noise dosimetry versus sampling using a sound level meter. *Annual Conference of the Australian Acoustical Society 2005, Acoustics 2005: Acoustics in a Changing Environment*, n. November, p. 285–289, 2005.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o apoio da Associação Brasileira de Engenharia de Segurança do Trabalho (ABRAEST) e dos professores do Colegiado do Curso de Segurança do Trabalho do Instituto Federal de Brasília (IFB), Campus Ceilândia.