EVENTO ON-LINE
III CIGELUBRA
Congresso Internacional de Gestão e Engenharia Luso-Brasileiro
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

Modelo Integrado de Gestão Ergoacústica para Sistemas Produtivos: um Estudo de Caso em uma Indústria Metal-Mecânica no Sul do Brasil

Walter José Moreira
Aluno do PPGEPS - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Sérgio Luiz Ribas Pessa
Professor Dr., orientador - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Resumo: Este artigo propõe um modelo integrado de gestão ergoacústica para sistemas produtivos, a partir de estudo de caso no setor de estampagem (processamento de metais) de uma indústria metal-mecânica do sul do Brasil (n = 178 trabalhadores, três turnos). A exposição ocupacional ao ruído foi avaliada por dosimetria pessoal em dois ciclos anuais (2024-2025), segmentada em dez Grupos Homogêneos de Exposição (GHEs), conforme critérios da NHO-01 (Fundacentro) e da NR-15. A atenuação real dos Equipamentos de Proteção Auditiva foi validada por Ensaio de Vedação (Fit Test), conforme ANSI/ASA S12.6 (2016). Os resultados indicam deterioração progressiva das condições acústicas, com GHEs críticos atingindo até 99,5 dB(A) em 2025. A comparação entre a atenuação nominal (NRR = 18 dB) e a atenuação real mensurada (PAR = 9 dB sem treinamento; 21 dB pós-treinamento) evidencia divergência significativa entre proteção documentada e proteção efetiva, com implicações diretas para a caracterização de atividade especial (Tema 555, STF). A partir da triangulação entre dados dosimétricos, resultados do Fit Test e referencial macroergonômico, estrutura-se um modelo em três dimensões (técnica, organizacional e humana), operacionalizado por um Programa de Conservação Auditiva de dez etapas articulado ao PGR (NR-01).

Palavras-chave: Ergonomia ocupacional, Gestão do ruído industrial, Fit Test, Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR), Sistemas produtivos automotivos.

Integrated Ergo-Acoustic Management Model for Production Systems: a Case Study in a Metal-Mechanical Industry in Southern Brazil

Abstract: This article proposes an integrated ergo-acoustic management model for production systems, based on a case study in the stamping (metal-processing) department of an automotive-sector metal-mechanical plant in southern Brazil (n = 178 workers, three shifts). Occupational noise exposure was assessed via personal dosimetry over two annual cycles (2024-2025), segmented into ten Homogeneous Exposure Groups (HEGs), in accordance with NHO-01 (Fundacentro) and NR-15 criteria. The actual attenuation provided by hearing protection devices was validated by fit testing, following the ANSI/ASA S12.6 (2016) standard. Results indicate a progressive deterioration of acoustic conditions, with critical HEGs reaching levels of up to 99.5 dB(A) in 2025. A comparison between nominal attenuation (NRR = 18 dB) and measured actual attenuation (PAR = 9 dB without training; 21 dB post-training) reveals a significant discrepancy between documented and effective protection, with direct implications for the classification of “special activity” status (Theme 555, Brazilian Supreme Federal Court). By triangulating dosimetric data, fit-test results and a macro-ergonomic framework, a three-dimensional model (technical, organizational and human) is structured and operationalized through a ten-step Hearing Conservation Program integrated with the Risk Management Program (PGR/NR-01).

Keywords: Occupational ergonomics, Industrial noise management, Fit test, Noise-Induced Hearing Loss (NIHL), Automotive production systems.

1. Introdução

A indústria metal-mecânica é um dos segmentos produtivos mais complexos do parque industrial brasileiro: convive com processos altamente automatizados e tarefas manuais fisicamente exigentes, cognitivamente pesadas e expostas a múltiplos riscos ambientais. No processamento de metais, esses riscos atuam simultaneamente sobre o trabalhador: ruído de impacto e contínuo gerado por prensas de grande porte, posturas forçadas pelo layout das linhas, movimentos repetitivos e alta demanda cognitiva no monitoramento de equipamentos automatizados. Nesse cenário, gerir riscos ocupacionais deixa de ser apenas uma exigência normativa e passa a ser questão estratégica para o desempenho sustentável do sistema produtivo.

A Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR) segue como um dos agravos ocupacionais mais notificados no Brasil, com prevalência desproporcional nos setores metalúrgico e de peças para veículos. Um levantamento nacional de quatorze anos de notificações confirma a trajetória ascendente do agravo, concentrada em atividades industriais de transformação (HILLESHEIM et al., 2022), e dados mais recentes mostram que a subnotificação pelos serviços de saúde ocupacional ainda compromete a formulação de políticas de prevenção efetivas (RAMALHO SILVA EPITÁCIO et al., 2024).

A literatura internacional sobre ergonomia e sistemas de manufatura mostra que condições inadequadas de trabalho, como posturas incorretas, sobrecarga cognitiva e fatores ambientais como o ruído, afetam de forma direta e mensurável o desempenho organizacional. A integração entre fatores humanos e métricas de engenharia ainda é incipiente na maioria das organizações, o que limita a capacidade das equipes de projeto de tratar o desempenho humano como variável do próprio sistema produtivo (GREIG et al., 2023). Hasanain (2024) reforça que incorporar princípios ergonômicos já na fase de projeto é condição necessária, e não apenas desejável, para a sustentabilidade da manufatura contemporânea.

Apesar dessas evidências, o modelo predominante de gestão de ruído nas indústrias brasileiras ainda se apoia no Noise Reduction Rating (NRR) informado pelo fabricante dos Equipamentos de Proteção Auditiva (EPAs), valor obtido em laboratório, em condições ideais, que pode superestimar substancialmente a atenuação real observada em campo. Uma revisão sistemática Cochrane recente encontrou evidência de qualidade moderada de que o Ensaio de Vedação (Fit Test), combinado a treinamento individualizado, melhora de forma consistente a atenuação pessoal realmente obtida pelos trabalhadores (MORATA et al., 2024). Esse descompasso entre proteção documentada e proteção efetiva constitui uma vulnerabilidade sistêmica: expõe o trabalhador a danos irreversíveis e a organização a passivos jurídicos e previdenciários relevantes, sobretudo diante da tese fixada pelo Supremo Tribunal Federal no Tema 555 (BRASIL, 2015).

Diante desse cenário, este artigo propõe e discute um modelo integrado de gestão ergoacústica para sistemas produtivos do setor de processamento de metais automotivo, articulando:

a) diagnóstico dosimétrico dos níveis de exposição por Grupos Homogêneos de Exposição (GHEs), conforme a NHO-01 (FUNDACENTRO, 2001) e a NR-15 (BRASIL, 2019);

b) análise crítica das limitações do modelo tradicional de proteção auditiva;

c) validação da atenuação real individual por Ensaio de Vedação (Fit Test);

d) estruturação de um Programa de Conservação Auditiva (PCA) integrado às diretrizes ergonômicas e ao Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), sob o referencial da NR-01 (BRASIL, 2022).

A contribuição teórica está na interface entre engenharia de produção, ergonomia e saúde ocupacional: propõe-se tratar a gestão dos riscos acústicos e ergonômicos não como obrigação legal isolada, mas como vetor de desempenho e sustentabilidade dos sistemas produtivos, alinhado às demandas crescentes de ESG (Environmental, Social and Governance) no setor metal-mecânico brasileiro.

Metodologicamente, trata-se de estudo de caso único, de natureza aplicada (YIN, 2018), com dosimetria pessoal em dois ciclos anuais, Fit Test em três cenários e triangulação com a literatura recente. Este artigo está dividido em cinco seções. A primeira contextualiza o tema, descreve o problema e aponta o objetivo. A segunda traz o referencial teórico sobre

ergonomia, ruído ocupacional e Fit Test. A terceira detalha a metodologia. A quarta apresenta os resultados e a discussão, incluindo o modelo proposto. A quinta reúne as conclusões, as limitações e as sugestões de trabalhos futuros.

2. Referencial teórico

2.1 Ergonomia e sistemas produtivos: fundamentos e interfaces

A ergonomia, disciplina científica dedicada à interação entre seres humanos e os demais componentes de um sistema de trabalho, com o objetivo de otimizar simultaneamente o bem-estar humano e o desempenho do sistema, é pilar da engenharia de produção contemporânea. Sua abrangência tripartite (física, cognitiva e organizacional) permite analisar de forma sistemática os fatores humanos que afetam o desempenho produtivo. Hasanain (2024), em revisão sobre manufatura sustentável, mostra que incorporar fatores ergonômicos na concepção dos postos de trabalho é condição estrutural para a sustentabilidade da produção, e não um ajuste corretivo posterior.

No plano cognitivo, a automação crescente dos sistemas produtivos automotivos torna a sobrecarga de processamento de informações uma variável crítica: operadores submetidos a demandas atentivas acima de sua capacidade cometem mais erros de operação e falhas de inspeção, risco particularmente relevante no processamento de metais, em que detectar cedo os defeitos de conformação é crítico para a qualidade.

No plano organizacional, Greig et al. (2023), em estudo de caso numa manufatura eletrônica com mais de cem interlocutores ao longo de cinco anos, constataram desalinhamento persistente entre as métricas de engenharia e as de ergonomia e fatores humanos. Na mesma direção, Brunner et al. (2024), aplicando um modelo de equações estruturais a dados de chão de fábrica, mostraram que integrar a Ergonomia Enxuta (Lean Ergonomics) aos processos de melhoria contínua produz efeitos mensuráveis sobre a estabilidade dos tempos de ciclo, evidência de que ganhos ergonômicos se propagam para indicadores tradicionalmente tratados como operacionais. Essa perspectiva integrada, que trata o sistema de trabalho como totalidade interdependente, é o que a literatura chama de macroergonomia (GREIG et al., 2023).

2.2 O agente físico ruído e seus efeitos nos sistemas produtivos

O ruído é um dos agentes físicos de maior prevalência e impacto nos ambientes industriais. No processamento de metais, as principais fontes são prensas mecânicas e hidráulicas, sistemas de alimentação de bobinas, linhas de corte, ferramentas pneumáticas e sistemas de transporte interno, que geram tanto ruído contínuo quanto ruído de impacto, este último com picos de pressão sonora que podem exceder 130 dB(A) e são particularmente lesivos às estruturas cocleares (SALIBA, 2023).

Os efeitos do ruído extrapolam o dano auditivo e afetam o desempenho produtivo: aumento da taxa de erros de operação, redução do ritmo ao final da jornada, mais paradas não programadas por fadiga e elevação dos custos com saúde ocupacional e afastamentos previdenciários. Pereira e Costa (2022) associam riscos ergonômicos mal gerenciados em linhas de produção a perdas mensuráveis de produtividade, e o agravamento das condições ambientais, do qual o ruído é componente central, tende a amplificar esses efeitos.

A legislação brasileira fixa o Limite de Tolerância (LT) em 85 dB(A) para jornadas de oito horas, conforme o Anexo 1 da NR-15 (BRASIL, 2019), e o Nível de Ação (NA) em 80 dB(A), a partir do qual medidas preventivas devem ser adotadas. A NHO-01 adota critérios mais rigorosos: incremento de duplicação de dose q = 3 (contra q = 5 da NR-15) e nível limiar de integração de 80 dB(A) (contra 85 dB(A)), alinhando-se a recomendações de organismos internacionais como NIOSH e ACGIH. O Parecer Técnico da Fundacentro (2020) recomenda expressamente adotar os critérios da NHO-01 para fins de prevenção, por sua maior aderência às evidências científicas sobre o dano auditivo.

2.3 Fit Test como ferramenta de validação em sistemas de controle

O Ensaio de Vedação Individual, internacionalmente denominado Fit Test ou Personal Attenuation Rating (PAR), é o método mais preciso atualmente disponível para verificar a atenuação real proporcionada por um EPA em condições individuais de uso. Baseado na norma ANSI/ASA S12.6 (ANSI, 2016), o método mede a diferença entre o nível de pressão sonora externo e o nível verificado dentro do canal auditivo com o protetor corretamente posicionado, fornecendo um valor individualizado que incorpora variáveis não

contempladas pelo NRR de laboratório: anatomia do canal auditivo, compatibilidade com outros EPIs, habilidade de inserção e adequação do modelo ao trabalhador.

A relevância do Fit Test decorre da demonstração empírica de que o NRR dos fabricantes superestima sistematicamente a atenuação real em campo. Hayes et al. (2022) constataram que aplicá-lo em clínica ocupacional permitiu identificar trabalhadores com atenuação insuficiente e, por reinstrução individualizada, elevar de forma consistente a atenuação obtida. A revisão Cochrane de Morata et al. (2024) confirmou evidência de qualidade moderada de que sistemas de estimativa de atenuação em campo associados a treinamento aumentam a PAR dos trabalhadores expostos. Uma sistematização internacional identificou que o Brasil já figura entre os países que recomendam formalmente o Fit Test em programas de conservação auditiva, ao lado de Argentina, Austrália, Itália e Malásia (WELLS et al., 2024).

No contexto jurídico brasileiro, o julgamento do Recurso Extraordinário 664.335 pelo Supremo Tribunal Federal, cujo Tema 555 estabeleceu que apenas a efetiva neutralização do agente nocivo pelo EPI descaracteriza a atividade especial para fins de aposentadoria, confere ao Fit Test dimensão estratégica adicional: é a metodologia com maior capacidade de comprovar documentalmente que a proteção fornecida reduz a exposição residual abaixo dos limites legais (BRASIL, 2015).

2.4 Interação ruído-ergonomia: efeitos sinérgicos sobre o desempenho

Os efeitos do ruído sobre o desempenho humano não podem ser analisados isoladamente: precisam ser compreendidos em interação com os demais fatores ergonômicos do ambiente de trabalho. A perspectiva macroergonômica sustenta que fatores físicos, cognitivos e organizacionais interagem de forma complexa e mutuamente amplificadora, o que torna inadequada qualquer abordagem que trate o controle do ruído e a gestão ergonômica como iniciativas independentes (GREIG et al., 2023). Sob a ótica da manufatura sustentável, saúde do trabalhador, produtividade e sustentabilidade organizacional formam um mesmo sistema de objetivos interdependentes, de modo que investimentos em conforto acústico e adequação ergonômica tendem a produzir retorno simultâneo em bem-estar e desempenho técnico (HASANAIN, 2024). É essa integração que fundamenta o modelo proposto na seção de resultados.

3. Metodologia

Esta pesquisa é um estudo de caso único de natureza aplicada (YIN, 2018), com abordagem predominantemente quantitativa nos dados de exposição ao ruído e qualitativa na análise dos impactos ergonômicos e na proposição do modelo. O contexto é o setor de processamento de metais (estampagem) de uma indústria metal-mecânica de grande porte do setor automotivo, localizada no sul do Brasil, cujo setor em estudo é composto por 178 colaboradores em três turnos.

3.1 Diagnóstico dosimétrico

A exposição ao ruído foi avaliada por dosimetria pessoal em dois ciclos anuais consecutivos (2024 e 2025), com dosímetro calibrado por instituição certificada, seguindo a NHO-01 (FUNDACENTRO, 2001) e os Anexos 1 e 2 da NR-15 (BRASIL, 2019). A
população foi segmentada em dez Grupos Homogêneos de Exposição (GHEs), identificados conforme os critérios da NHO-01. A análise adotou dupla perspectiva metodológica: fator q = 5 para enquadramento previdenciário (NR-15) e fator q = 3 para prevenção e gestão (NHO-01), seguindo recomendação do Parecer Técnico da Fundacentro (2020).

3.2 Análise ergonômica do trabalho

A caracterização ergonômica foi feita por observação sistemática das atividades em cada GHE: identificação das principais fontes de ruído, mapeamento das posturas nas operações de alimentação, monitoramento e extração de peças nas linhas de prensa e análise da carga cognitiva ligada ao monitoramento de equipamentos automatizados, seguindo os princípios da Análise Ergonômica do Trabalho (AET).

3.3 Ensaio de vedação (Fit Test)

A eficácia dos EPAs foi validada pelo protocolo do Fit Test, conforme ANSI/ASA S12.6

(ANSI, 2016), aplicado ao GHE de maior criticidade (Unidade 2, NPS = 99,5 dB(A)). Foram avaliados três cenários: (1) estimativa baseada no NRR de laboratório (18 dB); (2) resultado do Fit Test sem treinamento prévio na técnica de inserção; e (3) resultado do Fit Test após treinamento individualizado, conduzido por fonoaudiólogo. O Ruído Residual Efetivo foi calculado subtraindo a atenuação real (PAR) do nível de ruído ambiental medido.

3.4 Estruturação do modelo integrado

O modelo foi construído triangulando: (i) os resultados dosimétricos e do Fit Test; (ii) as diretrizes da Fundacentro para Programas de Conservação Auditiva (CUNHA et al., 2018); e (iii) o referencial internacional recente sobre macroergonomia e desempenho de sistemas produtivos (GREIG et al., 2023; BRUNNER et al., 2024; HASANAIN, 2024), a partir de revisão bibliográfica nas bases SciELO, Scopus, Web of Science, Google Acadêmico e periódicos indexados entre 2022 e 2025.

4. Resultados e discussão

4.1 Diagnóstico da exposição ao ruído por GHE

Os resultados das avaliações dosimétricas de 2024 e 2025 estão consolidados na Tabela 1. Os dados mostram deterioração sistemática das condições acústicas no período, com agravamento particular nos GHEs Unidade 2 e Unidade 5, cujos níveis chegaram a 99,5 dB(A) e 99,2 dB(A) em 2025, respectivamente.

Tabela 1 – Níveis de Pressão Sonora (NPS) por Grupo Homogêneo de Exposição (GHE), 2024-2025

GHE	NPS 2024 dB(A)	NPS 2025 dB(A)	Nível de Ação	Limite de Tolerância
Unidade 1	87,7	83,2	80,0	85,0
Unidade 2	89,1	99,5	80,0	85,0
Unidade 3	86,7	87,5	80,0	85,0
Unidade 4	88,6	88,1	80,0	85,0
Unidade 5	89,3	99,2	80,0	85,0
Unidade 6	91,4	88,9	80,0	85,0
Unidade 7	82,1	87,5	80,0	85,0
Unidade 8	86,2	92,6	80,0	85,0
Unidade 9	83,9	90,9	80,0	85,0
Unidade 10	76,8	85,0	80,0	85,0

Nota: NPS em dB(A), circuito de compensação A, resposta lenta (slow), conforme NHO-01 e Anexo 1 da NR-15.

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

Em 2024, 70% dos GHEs estavam acima do Limite de Tolerância (85 dB(A)) e 90% acima do Nível de Ação (80 dB(A)). Em 2025 a situação piorou: 90% dos GHEs atingiram ou superaram o Limite de Tolerância e 100% ultrapassaram o Nível de Ação, de modo que todo o setor passou a exigir medidas preventivas no âmbito do PCA e do PGR. Essa piora sugere que novas fontes de ruído foram introduzidas ou que as medidas de controle existentes perderam eficácia, hipótese coerente com o desgaste progressivo das ferramentas de estampagem e uma eventual redução da manutenção preditiva.

A análise pela NHO-01 (q = 3, NLI = 80 dB(A)) revela cenário ainda mais crítico do que a NR-15 sugere: os GHEs Unidade 2 e Unidade 5, com NPS de aproximadamente 99 dB(A), permitem apenas 30 minutos de exposição sem proteção pela NHO-01, contra 1 hora pela NR-15, evidência de que o parâmetro legal subestima o risco real, conforme já apontava o Parecer Técnico da Fundacentro (2020). Do ponto de vista ergonômico, esses níveis devem ser observados junto com as demais demandas do posto: as linhas de prensa desses GHEs exigem monitoramento visual contínuo de parâmetros de conformação e operação de controles de precisão, funções cognitivas cuja degradação sob ruído elevado é consistente com o referencial macroergonômico (GREIG et al., 2023).

4.2 Análise crítica do modelo tradicional: falsa sensação de segurança

A simulação da Tabela 2 mostra, de forma quantitativa, a limitação do modelo tradicional de gestão de EPAs, baseado exclusivamente no NRR do fabricante. Tomando como referência o GHE Unidade 2 (NPS = 99,5 dB(A)), o cálculo teórico com NRR de 18 dB resultaria em exposição residual de 81,5 dB(A), abaixo do LT de 85 dB(A) e, portanto, documentalmente regular.

Tabela 2 – Comparativo de eficácia real dos EPAs: NRR teórico versus Fit Test (GHE EST002, NPS = 99,5 dB(A))

Cenário	Atenuação (dB)	Exposição real dB(A)	Situação
1. Tradicional (NRR teórico)	18 (laboratório)	81,5	Falsamente protegido
2. Fit Test sem treinamento	9 (real – PAR)	90,5	Desprotegido – risco de PAIR
3. Pós-PCA (Fit Test c/ treinamento)	21 (real – PAR)	78,5	Efetivamente protegido

Nota: PAR = Personal Attenuation Rating, obtido via Fit Test conforme ANSI/ASA S12.6 (2016).

Fonte: elaborado pelos autores (2026)

O Fit Test sem treinamento prévio revelou atenuação real de apenas 9 dB, resultando em exposição residual de 90,5 dB(A), nível que, pela NHO-01, limita a exposição máxima diária a 2,5 horas, enquanto o trabalhador fica exposto por oito. O resultado converge com achados internacionais: Hayes et al. (2022) constataram que trabalhadores sem instrução individualizada obtêm atenuação real muito inferior à nominal, e Morata et al. (2024) confirmam que o treinamento associado ao Fit Test é o fator determinante para fechar essa lacuna. Após treinamento individualizado na técnica de inserção do plugue, a atenuação real elevou-se para 21 dB, reduzindo a exposição residual a 78,5 dB(A), abaixo inclusive do Nível de Ação.

Esses resultados têm implicações diretas para os sistemas produtivos. Na saúde ocupacional, a diferença entre 90,5 dB(A) e 78,5 dB(A) corresponde a uma redução expressiva na dose diária de ruído absorvida. No plano jurídico-previdenciário, essa diferença separa a caracterização da descaracterização da atividade especial, conforme o Tema 555 do STF. No plano da produtividade, riscos ergonômicos e ambientais mal gerenciados reduzem o desempenho líquido das linhas (PEREIRA; COSTA, 2022), impacto que se amplifica em linhas com alta interdependência entre postos, como as de estampagem progressiva. Considerando que o setor investigado emprega 178 trabalhadores, todos expostos acima do Nível de Ação no ciclo de 2025, a gestão eficaz do risco acústico representa, simultaneamente, uma intervenção de saúde pública, uma decisão econômica racional e uma obrigação legal.

4.3 Modelo integrado de gestão ergoacústica para sistemas produtivos

Com base nos resultados e no referencial revisado, propõe-se um modelo integrado de gestão ergoacústica estruturado em três dimensões complementares (técnica, organizacional e humana), operacionalizado por um PCA de dez etapas integrado ao PGR. O modelo articula a hierarquia de controles (NR-01), as diretrizes da Fundacentro para PCAs (CUNHA et al., 2018) e os princípios da macroergonomia aplicados à manufatura (GREIG et al., 2023; BRUNNER et al., 2024).

A Dimensão Técnica reúne as ações de controle de engenharia, priorizadas sobre as soluções de EPI conforme a hierarquia de controles. Para o setor investigado, as intervenções de maior potencial de redução na fonte incluem: enclausuramento acústico parcial das prensas de maior emissão (Unidade 2 e Unidade 5); substituição de ferramentas pneumáticas de extração de peças por sistemas eletromecânicos; instalação de silenciadores nos sistemas de exaustão; tratamento acústico das coberturas metálicas com materiais absorventes; e barreiras acústicas móveis entre postos adjacentes. A estimativa conservadora de redução de NPS com a combinação dessas medidas, para os GHEs mais críticos, situa-se entre 8 e 15 dB(A).

A Dimensão Organizacional engloba a reestruturação dos processos de gestão de risco: definição de GHEs por função e não apenas por área física; rodízio programado entre postos de maior e menor exposição; revisão da manutenção preventiva com critério de emissão sonora; e integração dos dados de exposição ao sistema de gestão da produção (ERP/MES), permitindo rastreabilidade em tempo real. Contempla ainda a matriz de responsabilidades do PCA entre Alta Direção, Engenharia de Segurança, Fonoaudiologia, Medicina do Trabalho, RH, Supervisão e Manutenção, arranjo coerente com o diagnóstico de Greig et al. (2023) sobre a necessidade de aproximar as métricas de engenharia das de fatores humanos.

A Dimensão Humana integra o PCA propriamente dito, em dez etapas sequenciais: (1) política formal de conservação auditiva com comprometimento da alta direção; (2) mapeamento e revisão periódica dos GHEs; (3) avaliação dosimétrica anual ou a cada mudança de processo; (4) seleção fundamentada de EPAs com base no ruído residual após controles coletivos; (5) Fit Test individual na entrega inicial e anualmente para os GHEs acima do NA; (6) protocolo de ação para PAR insuficiente, incluindo retreinamento e, se necessário, remanejamento; (7) vigilância audiológica com audiometrias admissional, periódica, sequencial semestral e demissional; (8) educação e conscientização permanente; (9) gestão de registros em conformidade com a LGPD; e
(10) avaliação anual por indicadores-chave de desempenho (KPIs), com relatório à Alta Direção.

Os KPIs propostos incluem: percentual de GHEs com NPS abaixo do LT após controles coletivos; taxa de PAR adequado no Fit Test anual; incidência e progressão de PAIR na população exposta; taxa de conformidade no uso de EPAs; número de ações de controle coletivo comprovadamente eficazes; e tempo médio de resposta às não conformidades do PGR. Integrar esses KPIs aos indicadores tradicionais da produção (OEE, MTBF, taxa de refugo, absenteísmo) permite demonstrar a correlação entre gestão ergoacústica e desempenho operacional, fundamentando o business case perante a Alta Direção.

4.4 Interação ergoacústica e desempenho dos sistemas produtivos: discussão integrada

Cruzando os dados coletados com o referencial revisado, chega-se a três proposições que podem orientar futuras pesquisas e intervenções no setor.

Proposição 1 - Complementaridade obrigatória: gestão do ruído e gestão ergonômica não são substituíveis, são complementares e se amplificam mutuamente. Reduzir o NPS melhora o desempenho cognitivo e reduz erros, independentemente dos benefícios auditivos diretos; inversamente, melhorar a ergonomia das estações aumenta a disponibilidade atentiva dos operadores para monitorar o ruído e usar corretamente os EPAs, o que é consistente com a perspectiva macroergonômica (GREIG et al., 2023; BRUNNER et al., 2024).

Proposição 2 - Mérito econômico mensurável: a gestão proativa dos riscos ergoacústicos produz retorno econômico mensurável. Com base nos dados do setor, estima-se que o modelo integrado (controles coletivos, PCA com Fit Test e vigilância audiológica) exija investimento inicial da ordem de R$ 350.000 a R$ 500.000 (estimativa de engenharia), com payback de 24 a 36 meses considerando apenas a redução de passivos previdenciários, afastamentos médicos e ações trabalhistas, sem contabilizar os ganhos de produtividade documentados na literatura sobre ergonomia e manufatura enxuta (BRUNNER et al., 2024).

Proposição 3 - Cultura como variável crítica: o componente cultural é a variável mais crítica e mais negligenciada na implantação de modelos ergoacústicos. O Cenário 2 da Tabela 2 mostra que um trabalhador sem treinamento adequado obtém apenas 43% da atenuação alcançada após o treinamento (9 dB de 21 dB), o que confirma, em contexto brasileiro, que investir em equipamento sem investir proporcionalmente em treinamento resulta em proteção documentada sem proteção real (HAYES et al., 2022; MORATA et al., 2024). A transição do paradigma reativo de entrega de EPI para o paradigma proativo de validação individual da proteção requer engajamento de todos os níveis hierárquicos e educação continuada.

5. Conclusões

Este estudo abordou a gestão do ruído ocupacional e da ergonomia no setor de processamento de metais automotivo, com o objetivo de propor um modelo integrado de gestão ergoacústica. Para isso, realizou-se estudo de caso único com dosimetria pessoal por GHE em 2024 e 2025 (NHO-01 e NR-15), Fit Test conforme ANSI/ASA S12.6 em três cenários e triangulação com o referencial recente sobre macroergonomia e manufatura sustentável.

Os dados revelaram deterioração sistemática das condições acústicas, com 90% dos GHEs no limite ou acima do Limite de Tolerância em 2025 e dois grupos próximos de 100 dB(A). O modelo tradicional baseado no NRR de laboratório subestimou o risco: o trabalhador ficou exposto a 90,5 dB(A) mesmo usando EPAs registrados, e o treinamento individualizado com validação por Fit Test elevou a atenuação real de 9 dB para 21 dB, reduzindo a exposição residual a 78,5 dB(A). O modelo proposto articula as dimensões técnica, organizacional e humana num PCA de dez etapas conectado ao PGR, monitorado por KPIs, e sustenta-se em três proposições: complementaridade entre gestão do ruído e ergonomia, mérito econômico mensurável e papel crítico da cultura organizacional.

Como contribuições, o trabalho oferece a gestores e profissionais de saúde e segurança um roteiro operacional para converter proteção documentada em proteção efetiva, e à academia uma abordagem que trata a gestão de riscos acústicos e ergonômicos como vetor de desempenho e sustentabilidade dos sistemas produtivos, e não como obrigação legal isolada. Conclui-se que a implantação rigorosa de um modelo de gestão ergoacústica integrada é, ao mesmo tempo, imperativo ético de valorização da vida e da saúde, obrigação legal, decisão econômica racional e estratégia de competitividade.

Como limitações, destacam-se a natureza transversal do estudo e a circunscrição a um único setor de uma empresa, o que restringe a generalização dos resultados quantitativos. Sugere-se, para trabalhos futuros: acompanhamento longitudinal dos indicadores audiométricos após a implantação do Fit Test; análise da correlação estatística entre NPS por GHE e indicadores de produtividade (OEE, taxa de refugo, MTBF); extensão da metodologia a outros setores da cadeia automotiva; e desenvolvimento de modelos preditivos de risco ergoacústico integrados aos sistemas de gestão da produção.

Referências

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ANSI/ASA S12.6-2016: Methods for Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors. New York: ANSI, 2016.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora n. 01 (NR-01): Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais. Brasília: MTE, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora n. 15 (NR-15): Atividades e Operações Insalubres. Brasília: MTE, 2019.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Recurso Extraordinário (RE) 664.335 - Tema 555. Relator: Min. Luiz Fux. Tribunal Pleno, julgado em 04/12/2014. DJe-029, 12 fev. 2015.

BRUNNER, S.; SIEBENBÜRGER, M.; KÜHNEL, K.; BENGLER, K. Promoting human-centered manufacturing through Lean Ergonomics - a structural equation model for ergonomics and management data. Production and Manufacturing Research, v. 12, n. 1, art. 2398086, 2024.

CUNHA, I. A. da (Coord.) et al. Guia de diretrizes e parâmetros mínimos para a elaboração e gestão do Programa de Conservação Auditiva (PCA). São Paulo: Fundacentro, 2018.

FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional (NHO-01): Avaliação da Exposição Ocupacional ao Ruído. São Paulo: Fundacentro, 2001.

FUNDACENTRO. Parecer Técnico: Divergências entre NR-15 e NHO-01 na avaliação da exposição ao ruído ocupacional. São Paulo: Fundacentro, 2020.

GREIG, M. A.; VILLAGE, J.; SALUSTRI, F. A.; NEUMANN, W. P. Examining human factors and ergonomics aspects in a manufacturing organisation's metrics system: measuring up to stakeholder needs. Ergonomics, v. 66, n. 12, p. 1868-1883, 2023.

HASANAIN, B. The role of ergonomic and human factors in sustainable manufacturing: a review. Machines, v. 12, n. 3, art. 159, 2024. DOI: 10.3390/machines12030159.

HAYES, M. E.; HAMMOND, S.; MONTGOMERY, A. P.; STEPHENSON, L. Improving hearing protection device noise attenuation through fit-testing in an occupational health clinic. Workplace Health & Safety, v. 70, n. 4, p. 196-204, 2022. DOI: 10.1177/21650799211067927.

HILLESHEIM, D.; GONÇALVES, L. F.; BATISTA, D. D. C.; GOULART, M. L. M.; ZUCKI, F. Perda auditiva induzida por ruído no Brasil: descrição de 14 anos de notificação. Audiology - Communication Research, v. 27, e2585, 2022. DOI: 10.1590/2317-6431-2021-25851.

MORATA, T. C.; GONG, W.; TIKKA, C.; SAMELLI, A. G.; VERBEEK, J. H. Hearing protection field attenuation estimation systems and associated training for reducing workers' exposure to noise. Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 5, Art. CD015066, 2024. DOI: 10.1002/14651858.CD015066.pub2.

PEREIRA, F. S.; COSTA, A. R. Riscos ergonômicos e produtividade em linhas de produção industrial. Revista Eletrônica Científica da UERGS, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 66-79, 2022.

RAMALHO SILVA EPITÁCIO, J.; ALVES NEVES VASCONCELOS, J.; GAMA ARAÚJO, J. P.; EMANUELLE TRINDADE CRUZ, Y.; SANTOS DE CARVALHO, B.; CARVALHO FREITAS, P. H. O índice de perda auditiva induzida por ruído relacionada ao trabalho em 2023. Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, v. 6, n. 7, p. 1664-1671, 2024. DOI: 10.36557/2674-8169.2024v6n7p1664-1671.

SALIBA, T. M. Manual Prático de Avaliação e Controle de Ruído. 14. ed. São Paulo: LTr, 2023.

WELLS, L. L.; SCHULZ, T. Y.; SALEEM, M.; DANTSCHER, S.; BORST, B.; GIGUÈRE, C.; FACKLER, C.; MURPHY, W. Standards and regulations for hearing protector fit testing - outcomes of the international hearing protector fit-testing symposium. Proceedings of Meetings on Acoustics, v. 53, p. 1-12, 2024.

YIN, R. K. Estudo de Caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.