



2024

XIII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

Santiago de Chile, 2–4 diciembre 2024

NR-15 e a saúde ocupacional: redução de ruídos em ambientes industriais

de Freitas, A. R.¹; Marquez, J. C.²; Schmitt, R.³

¹⁻⁴ Scala Acústica, Blumenau, SC, Brasil, {andrew, julio, rafael}@scaladb.com.br

Resumo

O setor industrial brasileiro está em constante evolução, gerando diversos impactos decorrentes desse crescimento, dentre eles estão os altos níveis ruídos produzidos pelo funcionamento de máquinas e equipamentos. A Norma Regulamentadora 15 (NR-15) visa proteger a saúde dos trabalhadores estabelecendo níveis de tolerância para exposição ao ruído ocupacional e determinando medidas de prevenção e controle, no entanto, adotar apenas medidas como o uso de EPIs, não garante uma redução significativa dos encargos para as empresas. O presente estudo foi realizado em uma indústria gráfica, a qual contempla equipamentos que emitem ruídos acima de 85 dB, gerando assim um ambiente insalubre. Para abordagem do tema ruído ocupacional, utilizou-se a ferramenta de mapa de ruídos, que surge como uma alternativa para mitigar os ruídos e reduzir os níveis de pressão sonora e doses de ruído que afetam os trabalhadores, fornecendo informações para avaliar e implementar melhorias nos processos industriais. Esta análise permitiu a idealização de soluções por meio de simulações computacionais. A partir disso, estas foram implantadas pela indústria e posteriormente avaliadas suas respectivas eficiências por meio de novas medições acústicas no setor, constatando novos níveis abaixo de 85 dB. Iniciativas como esta, não apenas beneficiam a saúde dos trabalhadores, mas também reduzem os encargos para a empresa a longo prazo.

Palavras-chave: Acústica industrial; Ruído ocupacional; mapa de ruídos; NR-15; Controle de ruído.

1. Introdução

O crescimento industrial brasileiro, impulsionado por novas tecnologias e pela busca por maior eficiência, tem sido um dos principais fatores para o desenvolvimento econômico do país. No entanto, essa evolução também resulta em desafios importantes, especialmente no que se refere ao aumento dos níveis gerados nas operações industriais, o qual origina variados tipos de ruídos de diferentes intensidade. O ruído excessivo está presente em muitos setores industriais, expondo um grande número de colaboradores a níveis sonoros potencialmente prejudiciais. Tal problemática pode prejudicar a saúde dos colaboradores, causando problemas como perda de audição, estresse, distúrbios do sono, fadiga, e até aumentando o risco de doenças cardiovasculares. [1]

Para proteger os colaboradores, o Ministério do Trabalho e Emprego tem como objetivo, através da Segurança e Saúde no Trabalho (SST), melhorar os locais, processos e ambientes de trabalho para reduzir acidentes e doenças [2]. Dentro dessa área, a Higiene Ocupacional é muito importante, pois se concentra na preservação da saúde dos colaboradores e no bom funcionamento das empresas. Nesse sentido, é essencial aplicar práticas e políticas que protejam a saúde física e mental dos colaboradores, incluindo a redução da exposição a riscos químicos, físicos e biológicos, como o ruído no ambiente de trabalho.

A Norma Regulamentadora 15 (NR-15) estabelece limites de tolerância para os níveis de exposição ao ruído e o tempo que o trabalhador pode ficar exposto durante sua jornada de trabalho. O problema do ruído envolve três elementos principais: a fonte sonora, caminho de propagação e o receptor. O controle do ruído pode ser feito nestes elementos principais [3].

Para minimizar o impacto sonoro, podem ser adotadas medidas como diminuir o som produzido na fonte; um desvio ou redução da energia sonora ao longo do seu caminho de propagação, e proteção no receptor [4]. Cada situação precisa ser estudada para definir as soluções mais adequadas.

Tendo em vista isso, o presente estudo apresenta um tratamento acústico realizado em uma indústria na cidade de Blumenau/SC. Inicialmente, foram feitas medições que revelaram níveis de ruído superiores a 85 dB. Com base em estudos e simulações computacionais, foram implementadas intervenções que reduziram o nível de ruído no ambiente de trabalho, atendendo aos requisitos da NR-15.

2. Fundamentos

Quando eventos são classificados como sons indesejáveis, seja por apresentarem níveis elevados de intensidade ou sons que não estão em harmonia gerando poluição sonora, esses sons são classificados como ruídos, geralmente com uma conotação negativa [3]. No contexto deste estudo, qualquer som indesejado presente em ambientes de trabalho que, ao exceder certos níveis de intensidade e tempo de exposição, pode causar efeitos adversos à saúde, como perda auditiva e outros problemas relacionados à exposição prolongada, é denominado ruído ocupacional [5].

O ruído se propaga como uma onda mecânica através de meios elásticos, como o ar, sólidos ou líquidos. No ar, a propagação ocorre principalmente pela compressão e rarefação das moléculas, enquanto em sólidos, o som se propaga por meio da vibração das partículas do material, em modos longitudinais e transversais [6].

Para medir os níveis de ruído, existem duas possibilidades. A primeira se dá através da utilização de medidor de nível de pressão sonora, o qual permite registrar quantos decibél um determinado equipamento está emitindo. O outro se dá através do uso de dosímetro, com o intuito de conhecer a exposição do colaborador ao ruído durante sua jornada de trabalho. Esse cálculo é expresso pela Equação 1.

$$L_p = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right), \quad (1)$$

Sendo P representante da pressão sonora gerada pelas ondas mecânicas no meio de propagação, medido em pascal (Pa). P_0 é a pressão sonora de referência, definida como 20 μ Pa (2×10^{-5} Pa).

Para avaliação do ruído ocupacional, avalia-se a quantidade total de exposição ao ruído que um colaborador está exposto ao longo de um período específico, geralmente durante uma jornada de trabalho de 8 horas. Trata-se do cocéito de dose de ruído, o qual serve para avaliar o impacto cumulativo da exposição a diferentes níveis de ruído ao longo do tempo, levando em consideração tanto o nível sonoro quanto o tempo de duração da exposição.

A dose de ruído é expressa em porcentagem e compara a exposição do colaborador ao limite permitido pela NR-15. Para que o ambiente seja considerado salubre, a dose de ruído deve ser inferior a 100%. O cálculo da dose de ruído leva em consideração os seguintes fatores:

- Nível de pressão sonora (L_p);
- Tempo de exposição a cada nível de pressão sonora,

A dose de ruído é calculada pela Equação 2:

$$\text{Dose}(\%) = \left(\sum \frac{C_n}{T_n} \right) \times 100, \quad (2)$$

Sendo que C_n são os tempos reais de exposição a cada nível de ruído e T_n são os tempos máximos

permitidos para esses níveis de ruído. Quando a dose ultrapassa 100%, significa que o colaborador está exposto a níveis de ruído potencialmente prejudiciais à saúde.

A NR-15 trata da exposição a agentes físicos em ambientes de trabalho, incluindo o ruído contínuo ou intermitente. A norma apresenta em seu Anexo 1 os níveis de pressão sonora em decibel (dB) e os tempos máximos permitidos de exposição diária sem a necessidade de proteção auditiva adicional. Esses limites são estabelecidos para proteger os colaboradores de potenciais danos auditivos e outros efeitos adversos à saúde.

O controle do ruído ocupacional é uma disciplina da Segurança e Saúde do Trabalhador (SST) que visa antecipar, reconhecer, avaliar e mitigar os riscos associados ao ruído nos ambientes de trabalho, garantindo a segurança e o bem-estar dos colaboradores. Compreender cada etapa desse processo é fundamental para minimizar a exposição dos colaboradores ao ruído [7].

Antecipação: Esta etapa envolve a identificação precoce das potenciais fontes de ruído no ambiente de trabalho, antes mesmo de sua ocorrência. Isso inclui a análise de processos e projetos de novos ambientes de trabalho, a identificação de equipamentos e procedimentos que possam gerar ruído, e a consideração de fatores como o *layout*, o tipo de material e os métodos de trabalho. O objetivo é prever problemas de propagação sonora antes que eles surjam. Nesta fase, há conhecimento das potenciais fontes de ruído, mas o problema em si ainda não está presente.

Reconhecimento: Consiste na confirmação da presença de ruído e na identificação de suas fontes específicas por meio de inspeções no local de trabalho, consulta aos colaboradores sobre suas experiências com ruído, e revisão de documentos e históricos de saúde ocupacional. O reconhecimento visa identificar claramente as fontes sonoras para dar início a estudos específicos de mitigação.

Avaliação: Após o reconhecimento das fontes de ruído, a avaliação se concentra em quantificar os níveis de ruído e determinar seu impacto na saúde dos colaboradores. Isso é feito através de medições no local para entender a situação inicial, coletando também dados sobre as doses de ruído (tempo e intensidade de exposição) e comparando-os com os limites de tolerância estabelecidos pela NR-15. É crucial que essas medições sejam realizadas em dias típicos de trabalho para garantir que a amostra seja representativa; medições em dias atípicos (com baixa ou alta demanda de trabalho) podem resultar em dados subestimados ou superestimados, respectivamente.

Controle: Com o diagnóstico completo do ambiente de trabalho, a etapa de controle é iniciada para proteger os colaboradores. O controle mais eficaz é aquele que atua diretamente na fonte de ruído, evitando que ele se propague por todo o ambiente. Quando o controle na fonte não é possível, o próximo passo é atuar no caminho de propagação, bloqueando ou minimizando a dispersão do ruído. Caso ambas as opções sejam inviáveis, a intervenção ocorre no receptor, protegendo diretamente a saúde dos colaboradores, embora esta deva ser a última opção de controle.

Para minimizar o impacto do ruído ocupacional, é adotada uma hierarquia de controle que segue uma ordem de eficácia, indo das intervenções mais efetivas às menos efetivas. Esse modelo é dividido em três componentes principais: Fonte, Caminho de Propagação e Receptor. Esses elementos representam as etapas pelas quais o ruído se propaga e indicam os pontos em que as medidas de controle podem ser aplicadas.

As soluções na fonte incluem a eliminação ou substituição de equipamentos geradores de ruído. No caminho de propagação, são implementados controles de engenharia (como barreiras, elementos absorvedores, enclausuramentos, entre outros), e no receptor são aplicadas medidas administrativas e/ou o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

Para otimizar o controle de engenharia, existem softwares que auxiliam no cálculo de intervenções acústicas, eliminando a necessidade de métodos de tentativa e erro na resolução de problemas relacionados ao ruído e, conseqüentemente, tornando a análise mais eficaz e acertiva. No estudo abordado neste

artigo foi utilizado o software IMMI, simulador computacional de propagação sonora da empresa alemã Wölfel Engineering GmbH & Co. KG., o qual oferece módulos para cálculo interno e dosimetria de ruído, ajudando no estudo de mitigação dos impactos acústicos. Para os cálculos, o programa utiliza uma abordagem híbrida, combinando a norma ISO 9613-2 (para calcular as primeiras reflexões do som que ocorrem diretamente entre a fonte e o receptor) com o método de traçado de raios (para simular as reflexões subsequentes em ambientes mais complexos, onde o som interage com várias superfícies, como paredes, tetos e objetos).

3. Desenvolvimento

O presente estudo foi realizado em um dos setores de uma indústria gráfica localizada em Blumenau/SC. O setor analisado é denominado Colagem, responsável pela dobra e colagem de embalagens de diversos produtos. As atividades são realizadas por meio de nove (09) máquinas que, em operação, geram elevados níveis de pressão sonora. Esses níveis afetam diretamente os operadores, resultando em índices de dosimetria elevados. O estudo foi estruturado em três etapas principais: o diagnóstico da situação inicial, a simulação computacional com dimensionamento das soluções (controle de engenharia) e, por fim, as medições pós-intervenções acústicas. Cada uma dessas etapas foi essencial para avaliar as condições atuais, propor medidas corretivas e verificar a eficácia das melhorias implementadas.

3.1 Diagnóstico da situação inicial

Inicialmente, foi necessário compreender melhor a situação do setor sem qualquer intervenção acústica. Para isso, realizou-se uma série de medições próximas aos equipamentos, com o objetivo de conhecer a característica sonora de cada máquina. Foram coletados dados de ruído emitido por cada máquina individualmente durante sua operação, enquanto as demais permaneciam desligadas, permitindo registrar a interferência sonora específica de cada equipamento no cenário inicial.

A fim de exemplificar a metodologia implementada, a Tabela 1 apresenta os níveis sonoros medidos próximos à Máquina 01, acompanhada pela respectiva imagem dos pontos de medição em planta, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1: Localização dos pontos de medição próximo ao equipamento - Máquina 01.

Tabela 1: Níveis de pressão sonora por bandas de oitava (31,5 à 8 KHz) - Máquina 01.

Ponto	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{Aeq}
P001	59,01	73,33	75,94	79,00	80,94	81,77	84,27	85,35	78,09	90,3
P002	61,41	70,46	80,22	80,83	85,73	84,48	86,09	86,27	82,66	92,3
P003	64,52	73,49	79,61	81,37	85,77	86,23	87,17	87,19	82,38	93,3
P004	64,81	69,19	76,68	81,27	83,92	83,74	85,61	83,98	82,17	91,1
P005	63,10	67,31	75,61	78,28	80,89	81,28	82,59	80,62	77,70	88,0
P006	64,06	67,04	73,07	76,53	79,33	79,17	79,50	76,44	72,78	85,1
P007	66,87	77,32	77,58	78,37	83,14	85,01	84,38	82,20	78,75	90,2

Os níveis de ruído emitidos pela Máquina 01 são significativamente mais elevados em comparação aos demais equipamentos, com destaque para a parte inicial da linha de produção, onde os níveis ultrapassam 90 dB. O operador, que permanece no ponto P007 durante sua jornada de trabalho, está exposto a esse nível de ruído. O ajudante, responsável por monitorar o processo ao longo da lateral da máquina, também está sujeito a níveis superiores a 90 dB, precisando intervir manualmente quando a operação é interrompida para ajustar o material. Ao longo do comprimento da máquina, os níveis de pressão sonora diminuem gradualmente, atingindo valores menores na extremidade final.

A Tabela 2 apresenta os níveis sonoros medidos próximos à Máquina 02, acompanhada pela respectiva imagem dos pontos de medição em planta, conforme apresentado na Figura 2.

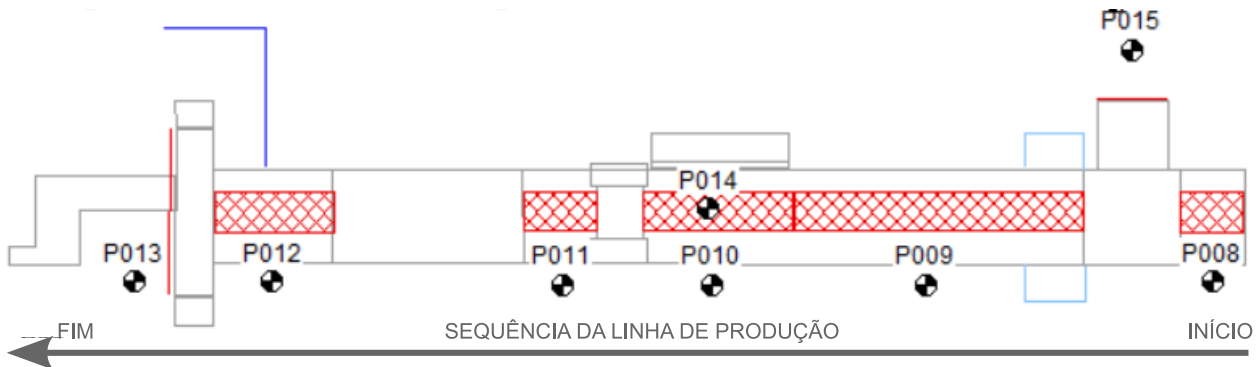


Figura 2: Localização dos pontos de medição próximo ao equipamento - Máquina 02.

Tabela 2: Níveis de pressão sonora por bandas de oitava (31,5 à 8 KHz) - Máquina 02.

Ponto	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_{Aeq}
P008	69,49	74,06	75,50	81,63	82,70	81,19	81,72	80,82	75,12	87,9
P009	70,64	72,41	75,52	80,83	81,65	81,35	80,42	78,86	73,61	86,9
P010	67,54	70,62	73,58	79,60	81,15	81,40	80,79	79,31	73,91	87,0
P011	69,81	73,66	72,00	78,87	79,48	79,18	78,85	77,81	72,14	85,2
P012	64,04	69,09	70,97	75,49	77,09	77,79	76,52	73,59	69,50	82,7
P013	65,74	67,92	72,12	75,42	77,13	76,13	76,89	70,79	65,78	81,9
P014	67,05	72,41	73,57	84,52	81,97	81,15	79,97	78,59	71,90	86,8
P015	69,61	73,57	77,48	80,29	83,76	84,35	83,17	81,17	76,21	89,4

A Máquina 02 é o segundo maior foco de ruído, apresentando características sonoras semelhantes às da Máquina 01, com níveis de ruído mais elevados na parte inicial e gradualmente menores na parte final. O operador está exposto a 87,9 dB, enquanto o ajudante, posicionado ao longo da lateral, é exposto a cerca de 86 dB.

As demais máquinas apresentaram níveis de ruído mais baixos. Em resumo, os pontos da Máquina 03 não ultrapassam 81 dB, da Máquina 04 chegam a 79 dB, da Máquina 05 atingem no máximo 82 dB, enquanto das Máquinas 06, 07 e 08 não ultrapassam 79 dB, e da Máquina 09 alcançam um máximo de 81 dB.

Em seguida, conhecendo o grau de responsabilidade de cada máquina, foram medidos os níveis sonoros no setor com todo o maquinário em pleno funcionamento. Essas coletas foram realizadas por meio de uma nova bateria de pontos de medição, distribuídos por todo o galpão, denominados “pontos de controle”. Estes permitiram registrar os níveis sonoros aos quais os colaboradores estão expostos durante a produção, para futura comparação com os níveis de dosimetria, além de fornecer dados adicionais para uma simulação mais representativa no software acústico.

O Quadro 1 apresenta os níveis de pressão sonora medidos nos pontos de controle, com todas as máquinas operando simultaneamente, os quais foram organizados em 13 corredores. Os corredores 01 a 09 correspondem aos pontos entre as máquinas, enquanto os corredores 10 a 13 referem-se aos pontos de medição na área de estoque.

Quadro 1: Níveis sonoros dos pontos de controle.

Corredor	Ponto	L_{Aeq}	Ponto	L_{Aeq}	Ponto	L_{Aeq}	Ponto	L_{Aeq}
01	P01	84,8	P02	87,7	P03	85,3	P04	82,6
02	P05	85,1	P06	87,8	P07	86,0	P08	84,5
03	P09	84,7	P10	88,5	P11	85,9	P12	84,1
04	P13	83,3	P14	86,3	P15	84,7	P16	83,0
05	P17	83,4	P18	84,0	P19	83,5	P20	82,0
06	P21	81,8	P22	82,7	P23	82,5	P24	81,3
07	P25	81,1	P26	82,3	P27	81,2	P28	81,0
08	P29	80,7	P30	81,2	P31	81,9	P32	80,3
09	P52	80,6	P33	80,6	P34	80,5	P35	79,2
10	P51	79,4	P36	79,9	P37	78,6	P38	78,4
11	P50	78,3	P39	78,7	P40	78,2	P41	78,3
12	P49	78,0	P42	77,4	P43	76,9	P44	77,3
13	P48	77,4	P45	76,2	P46	75,9	P47	76,5

A Figura 3 mostra o mapa dos pontos de medição na planta do galpão do setor Colagem.

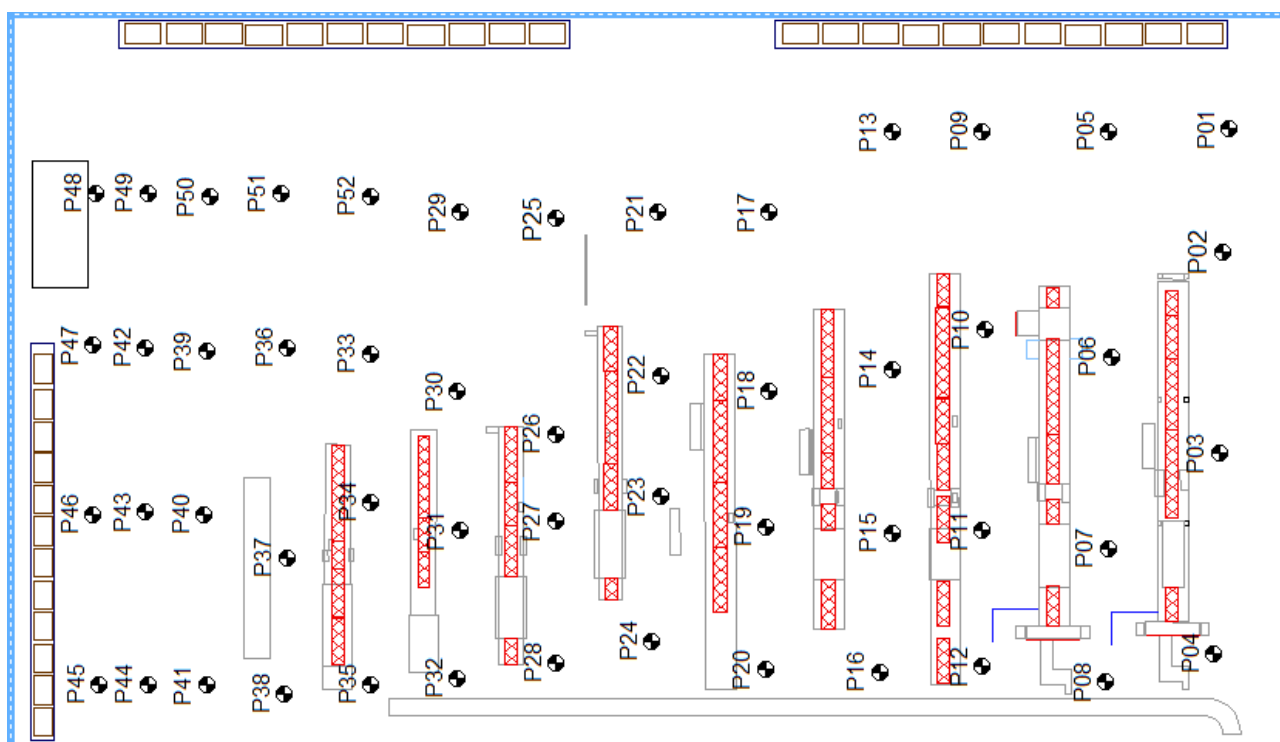


Figura 3: Localização dos pontos de controle medidos nos corredores.

Concluída a etapa de medições, foram reunidas todas as informações necessárias para criar um modelo computacional utilizando o IMMI. O objetivo do modelo é representar o cenário real por meio de uma maquete virtual, composta por elementos geométricos tridimensionais que retratam os obstáculos acusticamente relevantes do ambiente estudado.

3.2 Simulação computacional

Para isso, o setor de Colagem foi modelado com as ferramentas do software, incluindo a dimensionamento das paredes, teto e chão, além das máquinas e outros obstáculos. Foram atribuídos os índices de emissão e absorção apropriados a cada elemento. A Figura 4 ilustra a comparação entre o setor de Colagem real e sua representação no modelo de simulação acústica.

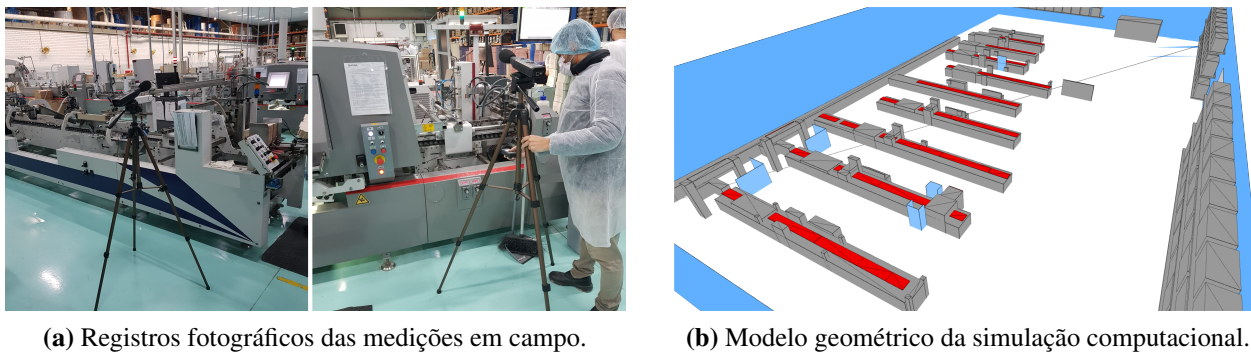


Figura 4: Comparação entre ambiente real e simulado.

Seguidamente, com a maquete virtual semelhante à realidade, iniciou-se a caracterização dos elementos sonoros utilizando os níveis de pressão sonora coletados em campo. Para isso, cada máquina modelada foi caracterizada com sua determinada potência sonora, as quais foram estimadas em função da distância em relação aos pontos de medição e calibradas com tolerância de até 2 dB para se garantir a representatividade do modelo.

Com a finalização desta etapa, foi possível elaborar um diagnóstico do comportamento da propagação sonora no setor utilizando mapas de cores. A Figura 5 destaca as máquinas com níveis de ruído mais significativos e identifica as áreas mais críticas em termos acústicos.

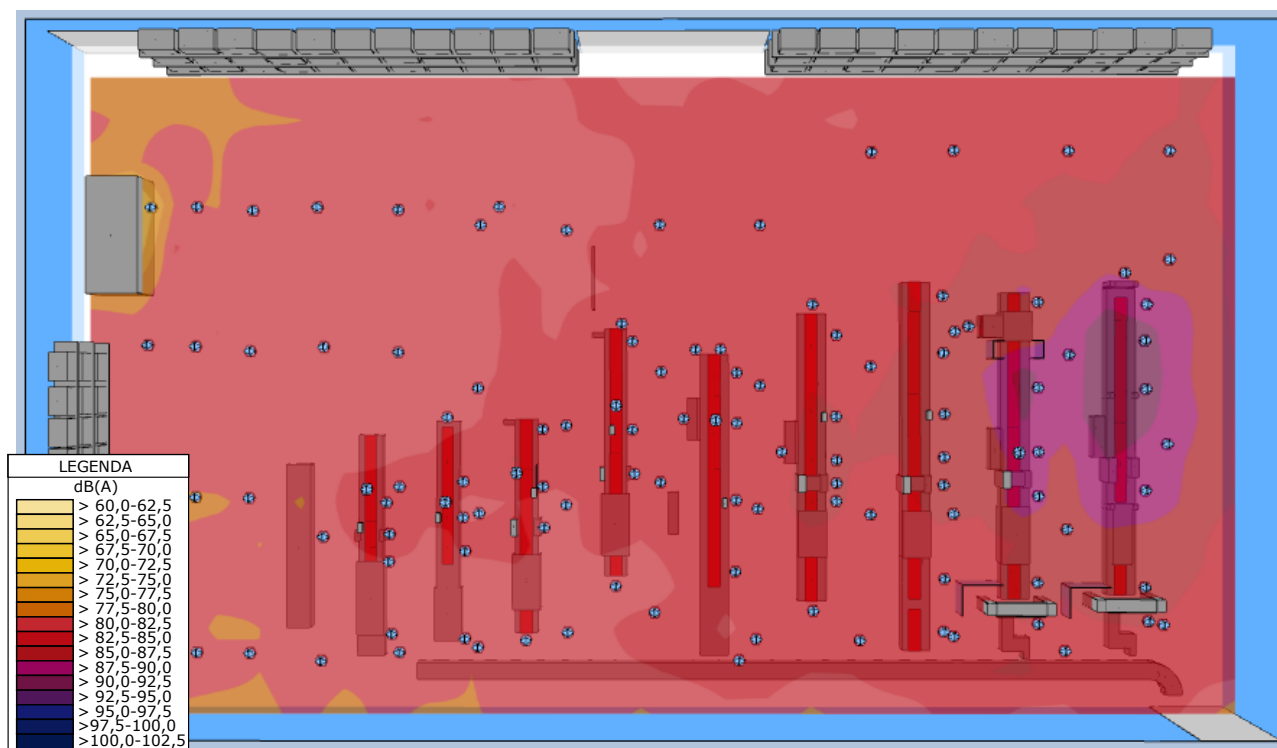


Figura 5: Cenário 00 - Mapa de ruído: situação atual.

Para facilitar a visualização das áreas mais críticas, ou seja, locais em que os ruídos ultrapassam 85 dB e estão em uma faixa de atenção, entre 82 e 85 dB, elaborou-se um mapa de conflito para identificar e mapear as áreas que inicialmente estão em desacordo com a NR-15, conforme ilustrado na Figura 6.

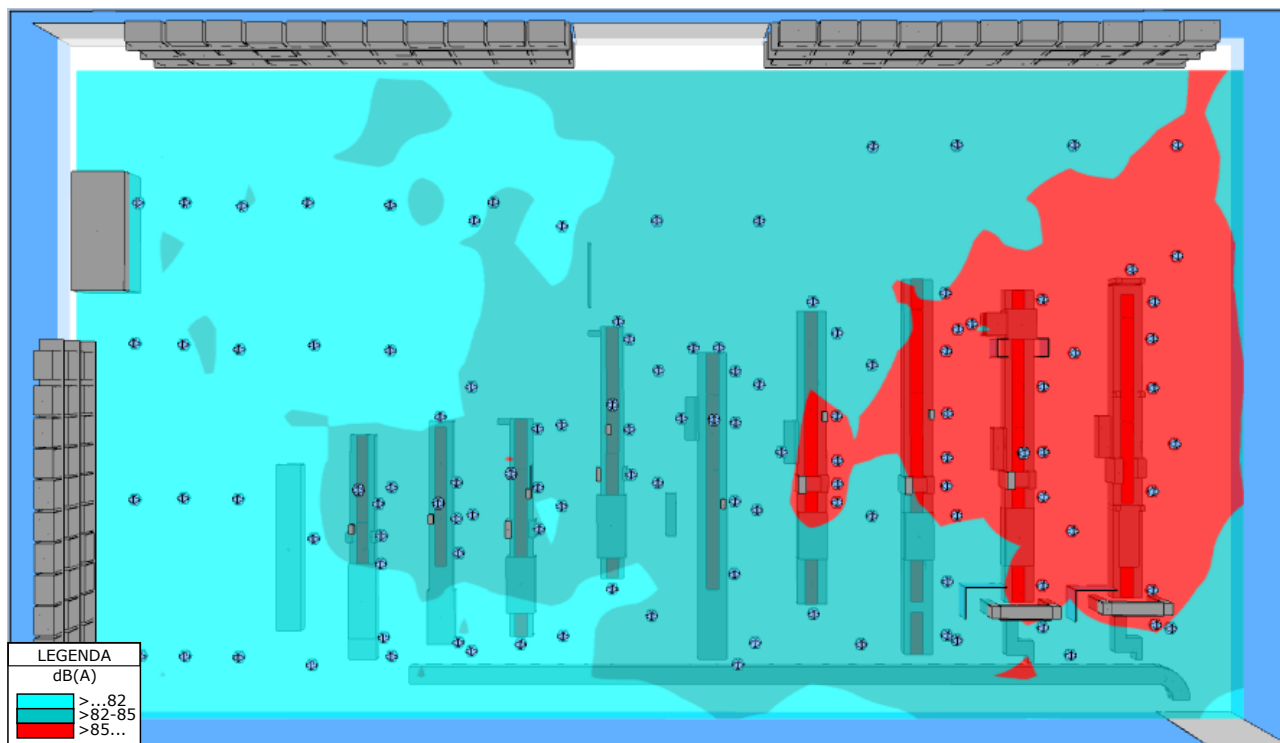


Figura 6: Cenário 00 - Mapa de ruído áreas críticas: situação atual.

Com essas informações, foi possível simular a dose de ruído à qual os colaboradores do setor estavam expostos. Utilizando a malha de resultados obtida na simulação, configurou-se a rotina de cada operador ao longo de sua jornada de trabalho utilizando a ferramenta de cálculo de dosimetria do IMMI. A Figura 7 ilustra um exemplo da simulação do cálculo para o operador da Máquina 01, realizada no software acústico.

Define a new worker

Name:

Staff No.:

Calculation variant:

Emission variant:

Target time h/day:

Actual time h/day:

L_EX /dB(A): NR 15

No	Active	Immission point	Level /dB	Time spent /min	L_EX,i /dB(A)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	P007	87,747	360,0	86,50
2	<input checked="" type="checkbox"/>	P02	86,585	60,0	77,55
3	<input checked="" type="checkbox"/>	P03	88,424	60,0	79,39

OK Cancel Help

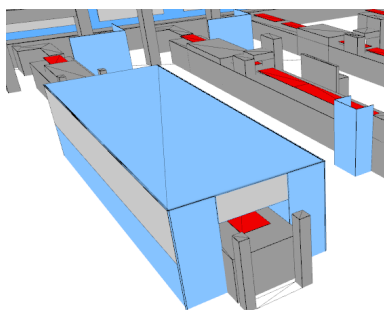
Figura 7: Cenário 00 - Dose de ruído: exemplo operador Máquina 01.

Para o Operador da Máquina 01, o cálculo da dose de ruído indica que o colaborador está exposto a aproximadamente 145% do limite estabelecido, valor que excede o permitido pela NR-15.

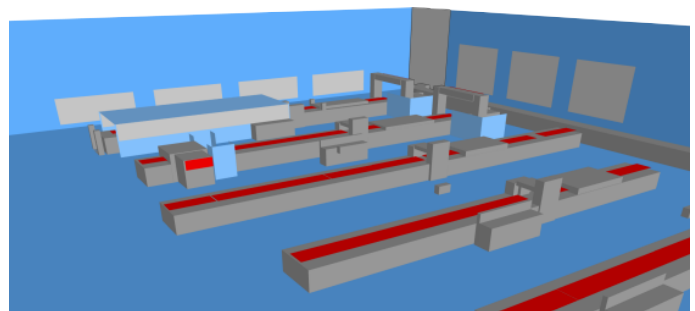
Vale ressaltar que o cálculo da dose de ruído apresentado como exemplo é uma estimativa obtida por simulação computacional, utilizando software especializado e dados de entrada provenientes de medições e informações coletadas em campo. Para obter dados mais precisos e representativos, é indispensável a realização de medições reais de dosimetria de ruído diretamente nos colaboradores.

Após o levantamento e validação do modelo computacional e a obtenção de todas as informações necessárias, iniciou-se a fase de idealização das soluções. Por meio de consultas com os colaboradores e responsáveis pelo setor, foi realizado um estudo de viabilidade para uma série de soluções potenciais. Essas soluções foram implementadas no modelo acústico do software para prever a eficiência de cada uma. No total, foram elaborados 09 cenários. Para cada cenário, foram apresentados os resultados simulados e os ganhos obtidos com as soluções acústicas. A indústria, então, selecionou a solução mais adequada para seus objetivos e a implementou. No caso em estudo, a solução escolhida foi o Cenário 07: enclausuramento parcial das Máquinas 01 e 02, combinado com o revestimento de painéis absorvedores em áreas estratégicas das paredes, próximas a essas máquinas.

No entanto, em relação ao enclausuramento parcial das máquinas, a indústria optou por adaptar o cenário escolhido, executando a solução somente na Máquina 01, que era considerada a mais crítica em termos de emissão de ruído. O objetivo do enclausuramento foi bloquear as ondas sonoras que incidiam diretamente nos operadores. Além disso, foi prevista a instalação de material absorvedor nas paredes próximas e dentro do enclausuramento para reduzir os níveis de ruído emitido pela região máquina, neste último revestido com material perfurado. O projeto acústico também levou em conta as necessidades de produção, como a área expansível da máquina, a visibilidade externa e a ventilação do ambiente. A Figura 8 apresenta a solução adaptada pela indústria do Cenário 07 (sem o enclausuramento parcial da Máquina 02), modelada no software IMMI.



(a) Enclausuramento parcial Máquina 01.



(b) 81 placas de revestimentos nas paredes.

Figura 8: Solução acústica - Cenário 07 adaptado pela indústria.

A simulação do cenário permitiu prever os resultados obtidos após a execução do projeto. Dessa forma, após o detalhamento das soluções da opção escolhida, ficou à cargo da indústria a implementação das intervenções simuladas, para que após isso, novas medições fossem realizadas para verificar o atendimento às expectativas geradas pela simulação.

4. Resultados e discussões

A indústria contratou uma empresa especializada em execução de soluções acústica para implementar as recomendações propostas, e posteriormente foram realizadas novas medições para avaliar a eficácia das intervenções, como o enclausuramento parcial da Máquina 01 e a instalação de placas absorvedoras nas paredes. O enclausuramento parcial da Máquina 01 foi construído em um formato “sanduíche”, composto por uma chapa de aço sólida de 0,65 mm, 50 mm de lã de rocha com densidade de 64 kg/m³, e uma camada de aço perfurado de 0,50 mm voltada para o equipamento, favorecendo a absorção sonora

no interior do enclausuramento. A cabine foi projetada com uma barreira acústica que se estende desde o nível do solo até 1 metro de altura, complementada por visores de acrílico de 10 mm, também com 1 metro de altura, para garantir a visibilidade da máquina.

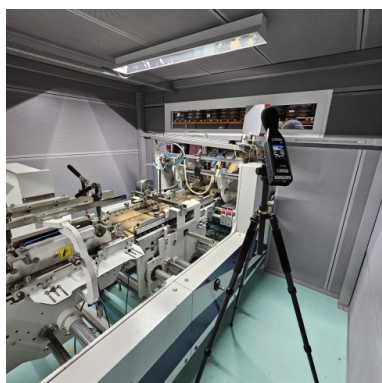
A Figura 9 apresenta o enclausuramento parcial finalizado. Como na simulação acústica é uma representação simplificada, a execução prática da construção exige adaptações para garantir a viabilidade da solução. Por isso, é imprescindível a contratação de uma empresa especializada em execução para realizar esse trabalho com precisão e eficácia.



(a) Parte frontal.



(b) Parte frontal.



(c) Parte interna.



(d) Parte lateral.

Figura 9: Enclausuramento parcial Máquina 01.

Já a Figura 10 evidencia que os revestimentos absorvedores nas paredes próximas foram aplicados conforme as possibilidades e não exatamente de acordo com as posições simuladas, porém a quantidade especificada no projeto acústico foi respeitada.



Figura 10: 81 placas de revestimentos nas paredes.

Ao comparar a situação inicial com os resultados obtidos após a implementação das soluções acústicas obteve-se os ganhos. Estes valores estão detalhados na Tabela 3, correspondentes aos pontos de medição apresentados na Figura 11.

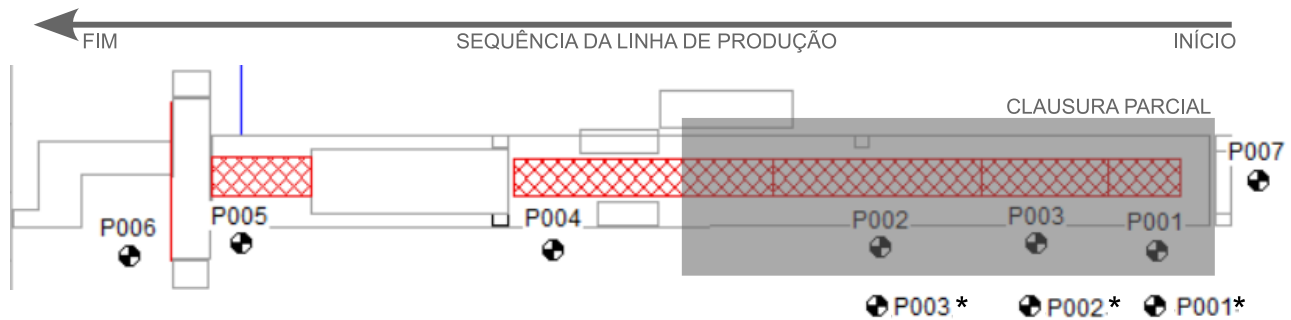


Figura 11: Localização dos pontos de medição próximo ao equipamento e localização da clausura - Máquina 01.

Tabela 3: Comparação pré e pós-solução acústica.

Ponto	Pré-Solução	Pós-Solução	Ganhos
P001 Dentro Clausura	90,3	88,7	1,6
P001* Fora Clausura	90,3	82,5	7,8
P002 Dentro Clausura	92,3	88,4	3,9
P002* Fora Clausura	92,3	80,0	12,3
P003 Dentro Clausura	93,3	88,5	4,8
P003* Fora Clausura	93,3	83,0	10,3
P004	91,1	84,4	6,7
P005	88,0	81,6	6,4
P006	85,1	81,3	3,8
P007	90,2	85,4	4,8

De modo geral, os resultados demonstram que a solução foi eficaz na mitigação do ruído, com maior impacto nas áreas externas, como evidenciado pela maior redução de níveis sonoros nesses pontos em comparação aos internos. Nos pontos internos da clausura, a redução foi menor, mas é importante destacar que esses locais não são de permanência contínua dos colaboradores, sendo acessados apenas durante paradas da máquina para ajustes ou manutenção.

A implementação da solução proposta resultou em uma redução significativa nos níveis de ruído em todos os pontos monitorados na Máquina 01, tanto em áreas internas quanto externas. Os dados indicam uma variação no ganho de redução de ruído, com destaque para o ponto P002* fora da clausura, que apresentou a maior diminuição de 12,3 dB, e para o ponto P003* fora da clausura, com uma redução de 10,3 dB. Em contrapartida, o menor ganho foi observado no ponto P001 dentro da clausura, com um ganho de apenas 1,6 dB.

Com relação aos pontos P004 a P007, os resultados indicam uma redução consistente nos níveis de ruído após a implementação da solução, com ganhos variando de 3,8 dB a 6,7 dB. Esses pontos, embora não apresentem os maiores ganhos, mostram uma eficácia significativa da solução, contribuindo para uma melhoria perceptível nas condições acústicas. O ponto P004 teve um ganho de 6,7 dB, enquanto os pontos P005 e P006 obtiveram reduções de 6,4 dB e 3,8 dB, respectivamente.

O ponto P007, identificado como o mais crítico por ser a área onde o colaborador insere os materiais na máquina, apresentou uma redução significativa de ruído de 4,8 dB. Apesar de não ser o ponto com o maior ganho, essa diminuição é especialmente relevante, considerando a exposição direta dos colaboradores

nessa posição durante a operação da máquina. A solução implementada mostrou-se eficaz na mitigação do ruído justamente no local mais sensível, promovendo uma melhoria perceptível nas condições de trabalho e potencialmente reduzindo a exposição ao ruído dos colaboradores nesse ponto estratégico.

A consistência na redução do ruído em todos os pontos avaliados reforça o potencial das soluções promovendo assim uma melhoria significativa nas condições acústicas do ambiente de trabalho.

Até o momento da conclusão do presente estudo, as medições das doses de ruído nos colaboradores ainda não foram executadas pela indústria. Essas informações são fundamentais para complementar a análise da eficácia da solução implementada, proporcionando uma visão mais detalhada sobre a exposição real dos colaboradores ao ruído durante suas atividades.

5. Considerações finais

O presente estudo reforça a importância de garantir um ambiente de trabalho salubre, visando à preservação da saúde ocupacional dos colaboradores, especialmente em ambientes industriais, onde a exposição ao ruído gerado por equipamentos é frequente. A mitigação de ruídos excessivos é essencial não apenas para o conforto auditivo, mas também para a prevenção de doenças ocupacionais relacionadas à exposição prolongada a altos níveis sonoros.

Neste caso real, demonstrou-se que a utilização de ferramentas de simulação computacional é fundamental para prever a eficácia das soluções antes de sua implementação prática, tornando o processo mais assertivo. Embora os resultados obtidos com as intervenções realizadas tenham sido satisfatórios, a solução mais adequada para esse cenário seria um conjunto de medidas complementares, como o enclausuramento tanto da Máquina 01 quanto da Máquina 02, além da aplicação de revestimentos acústicos absorventes nas paredes do galpão. Até o momento, essas intervenções foram implementadas apenas na Máquina 01, sugerindo que o enclausuramento na Máquina 02 poderia resultar em uma redução ainda mais significativa dos níveis de ruído no ambiente, beneficiando diretamente todos os colaboradores que trabalham nas proximidades.

O *feedback* positivo dos colaboradores que atuam na Máquina 01 reforça a eficácia das medidas já realizadas. Eles relataram uma perceptível redução dos níveis de ruído após as intervenções acústicas, o que contribuiu para a melhoria do ambiente de trabalho.

A conformidade com a NR-15 é indispensável nesse contexto. A norma estabelece limites de exposição ao ruído em ambientes de trabalho, visando à proteção da saúde dos colaboradores. A implementação das medidas de controle acústico apresentadas neste estudo é um passo crucial para atender a esses requisitos legais, prevenindo o desenvolvimento de doenças ocupacionais relacionadas à exposição ao ruído e promovendo o bem-estar dos colaboradores. Investir em soluções de mitigação de ruídos é, portanto, uma ação de responsabilidade social e legal que assegura um ambiente de trabalho seguro e produtivo.

Referências

1. Gerges, Samir N.Y. *Ruído: Fundamentos e Controle*. 2ª ed. Florianópolis: NR Consultoria e Treinamento, 2000. ISBN 978-8587550020.
2. Brasil, Ministério do Trabalho e Emprego. *Fiscalização de Saúde e Segurança no Trabalho*. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho>.
3. Bistafa, S.R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. 3ª ed. São Paulo: Blucher, 2018. ISBN 978-8521212843.
4. Cheremisinoff, N.P. *Noise Control in Industry: A Practical Guide*. 1ª ed. Elsevier Science: Elsevier Science, 1996. ISBN 978-0815513995.
5. Olishifski, J.B. *Fundamentals of industrial hygiene*. 6ª ed. National Safety Council, 2012. ISBN 978-0879123123.
6. Beranek, L.L. *Acoustics*. Rev subª ed. Amer Inst of Physics, 1986. ISBN 978-0883184943.
7. Lugato, M.S., Mantovani Daniel. Engenharia e segurança do trabalho: Uma análise da etapa de antecipação dos riscos ocupacionais. *Journal of Exact Sciences - JES*, V.37(n.2pp):24–29, (Abr - Jun 2023). ISSN 2358-0348.