REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

EFEITO DA CABINE NA ATENUAÇÃO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA EM DIFERENTES ROTAÇÕES DO MOTOR EM TRATORES AGRÍCOLAS CABINADOS UTILIZADOS NO CULTIVO DO CAFÉ E EM CULTURAS DE GRÃOS: UM ESTUDO DE CASO

EFFECT OF THE CAB ON SOUND POWER LEVEL ATTENUATION AT DIFFERENT ENGINE SPEEDS IN CABINED AGRICULTURAL TRACTORS USED IN COFFEE CULTIVATION AND GRAIN CROPS: A CASE STUDY

Daniel Augusto M. Pedro
IFSULDEMINAS campus MUZAMBINHO, Brasil
E-mail: danielmelo0416@gmail.com

Geraldo Gomes de Oliveira Jr
IFSULDEMINAS campus MUZAMBINHO, Brasil
E-mail: geraldo.junior@muz.ifsuldeminas.edu.br

Ricardo Marques da Costa*,
IFSULDEMINAS campus MUZAMBINHO, Brasil
E-mail: ricardo.costa@ifsuldeminas.edu.br
*Corresponding author – *IAC Group: CNPq Certified*[1]

Resumo

A modernização da agricultura, impulsionada pela intensificação do uso de máquinas, elevou significativamente a produtividade e reduziu custos operacionais. Entretanto, esse avanço tem sido acompanhado por preocupações relacionadas à saúde ocupacional, especialmente quanto à exposição ao ruído gerado por tratores, reconhecido como um importante agente de risco à saúde dos operadores. Mesmo em tratores cabinados, observa-se que os níveis de ruído permanecem elevados, afetando não apenas a audição, mas também a comunicação, a concentração e o desempenho, além de contribuírem para efeitos psicológicos como estresse e fadiga mental. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da cabine em reduzir a intensidade do nível de pressão sonora sob diferentes níveis de rotação do motor em tratores utilizados no cultivo do café e de culturas de grãos, como milho, sorgo e soja. Foram analisados os modelos Yanmar 1155-4 e John Deere 6110-J por meio de medições do nível de pressão sonora em ensaio de campo controlado estático, realizadas no interior e no exterior da cabine. O experimento foi conduzido no setor de mecanização agrícola do IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho, adotando-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), com repetições por rotação. O trator John Deere foi avaliado em esquema fatorial 5×2, com cinco níveis de rotação (1400 a 2200 rpm) e dois ambientes de medição. O modelo Yanmar 1155-4 seguiu esquema 4×2, com rotações entre 1550 e 2150 rpm. As medições foram submetidas à Análise Hierárquica de Cluster (HCA) para identificação de padrões de similaridade, seguida de análise de regressão, considerando-se a significância ($P<0,05$) e o coeficiente de determinação ajustado (R^2). Os resultados indicaram que, as cabines promovem atenuação do nível de pressão sonora.

Palavras-chave: Análise multivariada; Cabines de tratores; Rotação; Ruído; Saúde ocupacional.
Abstract

[1] Líder do Grupo de Pesquisa intitulado **Informática Aplicada às Ciências (IAC)** certificado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

The modernization of agriculture, driven by the intensified use of machinery, has led to substantial gains in productivity alongside reductions in operational costs. Despite these advances, concerns regarding occupational health have increased, particularly in relation to noise exposure from tractors, which is widely regarded as a significant risk factor for operators. Even in cab-enclosed tractors, noise levels remain considerable, affecting not only hearing but also communication, concentration, and work performance, in addition to contributing to psychological effects such as stress and mental fatigue. This study aimed to evaluate the effectiveness of tractor cabins in attenuating noise under different engine speed conditions in operations involving coffee cultivation and rainfed crops, including maize, sorghum, and soybean. The analysis considered two tractor models, John Deere 6110-J and Yanmar 1155-4, through measurements of sound pressure levels obtained in a controlled static field experiment, both inside and outside the cabin. The experiment was conducted at the agricultural mechanization sector of IFSULDEMINAS – Muzambinho campus, adopting a completely randomized design with four replications per engine speed. The John Deere tractor was evaluated using a 5×2 factorial arrangement, combining five engine speeds (1400 to 2200 rpm) and two measurement environments. The Yanmar 1155-4 model followed a 4×2 factorial scheme, with engine speeds ranging from 1550 to 2150 rpm. The data were analyzed using Hierarchical Cluster Analysis (HCA) to identify similarity patterns, followed by regression analysis, with statistical significance assessed at $P<0.05$ and model fit evaluated through the adjusted coefficient of determination (R^2). The results indicate that, although cabins contribute to noise attenuation.

Keywords: Tractor cabins; Multivariate analysis; Engine speed; Noise; Occupational health.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

1. Introdução

A introdução das máquinas e equipamentos na agricultura possibilitou transformações e mudanças nas práticas de produção global, de forma mais efetiva no aumento da produtividade. Simultaneamente ao aumento da produtividade aumentou-se também a preocupação com a saúde dos trabalhadores rurais que operam estas máquinas agrícolas. Neste sentido, as máquinas agrícolas vêm sofrendo constantes atualizações com o objetivo de se tornarem mais eficientes, modernas e confortáveis, haja vista que o trabalhador poderá render mais em suas atividades laborais, reduzindo riscos a sua saúde.

Para tanto, a indústria de máquinas agrícolas busca cada vez mais, desenvolver equipamentos em que o nível de potência sonora e consequentemente pressão sonora (NPS) seja mínimo e/ou menos danoso possível à saúde do trabalhador rural. Nesta linha, o problema de pesquisa do trabalho é: **Qual a influência da cabine na atenuação do nível de pressão sonora em diferentes rotações do motor em tratores agrícolas cabinados utilizados no cultivo do café e em culturas de grãos?**

Embora haja diversos riscos à saúde dos trabalhadores é a exposição ao ruído, a principal causa de perda auditiva sensório-neural em indivíduos adultos (Marques e Costa (2006) e tem-se percebido, que mesmo os tratores cabinados, podem apresentar níveis de ruídos que estão acima dos limites aceitáveis pela legislação para uma jornada padrão de 8 horas.

A Perda Auditiva Induzida pelo Ruído (PAIR) é uma condição que se agrava ao longo do tempo, sendo diretamente influenciada pela intensidade do nível de pressão sonora, a duração da exposição e a suscetibilidade individual do trabalhador (Marques e Costa (2006)). Além dos impactos na saúde, é válido destacar que o Nível de Pressão Sonora, pode interferir nas atividades laborais, no descanso, no sono e na comunicação dos indivíduos (Marques e Costa (2006).

A Tabela 1 exemplifica o incremento de duplicação de dose (q) adotado pela NR-15, fundamentado no conceito de equivalência de exposição. De acordo com esse princípio, a cada incremento de 5 dB no nível de ruído ocorre a duplicação da

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

dose de exposição ocupacional, resultando na redução pela metade do tempo máximo de exposição permitido.

Tabela 1: Exemplificação do incremento de duplicação de dose adotado pela NR-15

Nível de Ruído dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
90	4 horas
95	2 horas

Fonte: Adaptado de Norma Regulamentadora NR 15 (2017)

Pela Tabela 1, percebe-se que ao se aumentar o número de horas trabalhadas é necessário um maior nível de cuidado quanto ao tempo de exposição ao ruído e que este tempo não de ultrapassar a Máxima Exposição Diária Permissível.

Em suma, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da cabine na atenuação do nível de pressão sonora em diferentes rotações do motor em dois tratores agrícolas cabinados utilizados no cultivo do café e em culturas de grãos.

2. Metodologia

O trabalho foi desenvolvido no setor de mecanização do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, campus Muzambinho utilizando os tratores 1155-4® de 55 CV da Yanmar e o trator cabinado John Deere 6110-J® de 110 CV. Para tanto, as avaliações do nível de pressão sonora do conjunto foram realizadas em ensaio de campo controlado e em condição estática de acordo com as condições descritas no item 2.1 (Tabela 2).

Tabela 2: Caracterização técnica dos tratores utilizados nos ensaios de medição de nível de pressão sonora

Característica	John Deere 6110-J	Yanmar 1155-4
Ano/modelo	Série 6J	Série 1155-4

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

Potência nominal	110 cv	55 cv
Tipo de cabine	Fechada, climatizada	Fechada, compacta
Aplicação	Operações mecanizadas	Culturas adensadas
Manutenção	Preventiva regular	Preventiva regular
Isolamento acústico	Vinil/espuma; blindagem; tapetes PVC; coxins	Revestimento termoacústico; vedação monobloco; isolamento frontal

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Ambos os tratores tem em suas estruturas de fabricação, materiais isolantes que contribuem para que as cabines atuem para o isolamento do ruído observado.

2.1 Condições do ensaio e padronização das medições

As medições foram realizadas em ambiente com controle das condições externas, buscando minimizar a influência de fontes sonoras alheias ao objeto de estudo. Embora não seja possível garantir a ausência completa de ruído de fundo em condições de campo, previamente a cada leitura verificou-se a inexistência de interferências significativas, como máquinas em funcionamento, conversas próximas e tráfego de veículos, de modo a assegurar que os níveis de pressão sonora registrados fossem predominantemente provenientes dos tratores avaliados.

O posicionamento do sonômetro foi padronizado de acordo com a finalidade das medições realizadas. No interior da cabine, o equipamento foi posicionado na altura da zona auditiva do operador, a uma distância de até 150 mm da orelha, de modo a representar a condição real de exposição ocupacional ao ruído. Para as medições no ambiente externo, o sonômetro foi igualmente posicionado a uma distância de 150 ± 50 mm do canal auditivo do operador, no lado predominante da saída do escapamento, região caracterizada pela maior intensidade de emissão sonora e próxima à área de atuação do trabalhador.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

As cabines dos tratores encontravam-se em conformidade com as especificações técnicas dos fabricantes, garantindo condições adequadas de vedação e isolamento acústico durante todo o período experimental. Ressalta-se que os tratores utilizados apresentavam manutenção preventiva atualizada, por se tratarem de equipamentos de uso controlado em atividades acadêmicas, o que contribui para a estabilidade das condições operacionais.

As condições climáticas durante a realização dos ensaios foram estáveis e favoráveis, com ausência de ventos, precipitações ou quaisquer eventos atmosféricos (trovões ou trovoadas) que pudessem interferir na propagação ou captação do nível de pressão sonora.

A determinação do nível de pressão ocorreu com medidor de pressão sonora (sonômetro), CB-851, exatidão: ±1,5 dB(A), resolução 0,1 dB(A) escala de medição de 30 a 130 dB(A), escala de frequência: 31,5HZ a 8kHz, calibrado eletromecanicamente com certificado da rede brasileira de calibração (RBC). O equipamento foi configurado no circuito de resposta lenta (*slow*) e curva de ponderação “A” (BRASIL, 1978). Em todas as avaliações, o medidor de pressão sonora foi utilizado com o protetor de ventos posicionado no microfone.

Optou-se pela realização de ensaio em condição estática, com o objetivo de assegurar a comparabilidade entre os tratamentos. Ensaios dinâmicos, ainda que controlados quanto a questões relativas ao operador, trajeto e parâmetros operacionais, estão sujeitos a variações inerentes ao deslocamento, o que comprometeria a padronização das medições. Dessa forma, a condição estática proporcionou maior controle experimental e maior confiabilidade na avaliação da influência da rotação do motor sobre os níveis de ruído. A metodologia adotada no presente estudo converge com aquelas empregadas Oliveira Jr. *et al.* (2022) e Oliveira *et al.* (2020)., que avaliaram a emissão sonora em máquinas e tratores agrícolas sob ensaios de campo controlados.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

2.2 Planejamento experimental e modelagem estatística das variáveis

Para o Trator John Deere 6110-J o trabalho foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (5 x 2), sendo combinadas 5 (cinco) rotações (1400, 1600, 1800, 2000 e 2200) medidas em rotações por minuto (rpm) e dois locais diferentes (dentro e fora da cabine). E para o Trator Yanmar 1155 - 4 foi conduzido também um delineamento inteiramente casualizado (DIC), mas em esquema fatorial (4 x 2), sendo combinadas 4 (quatro) rotações (1550, 1750, 1950 e 2150) medidas em rotações por minuto (rpm) também dentro e fora da cabine. Em cada rotação avaliada, foram realizadas quatro repetições, com leituras de 10 segundos cada, sendo considerada a máxima leitura registrada em cada intervalo amostrado. O tempo de coleta foi definido considerando a estabilidade das condições ambientais, a manutenção constante da rotação do motor e a operação em condição estática durante todo o período de medição.

Os intervalos de rotação para cada trator, de 1400 a 2200 rpm para o trator John Deere 6110-J e de 1550 a 2150 rpm foram escolhidos de forma a se calcular diferentes estágio possível de rotação do motor. Ou seja, o nível de ruído em baixa e alta rotação e o comportamento das cabines no abafamento dos mesmos.

Os resultados foram comparados aos limites estabelecidos pela NR-15 com finalidade exclusivamente referencial e preventiva, não configurando uma avaliação ocupacional completa de exposição ao ruído. Essa comparação foi adotada por permitir uma interpretação prática do potencial de exposição sonora associado à operação dos tratores avaliados, considerando que os níveis obtidos em condições estáticas e controladas podem indicar tendências de comportamento acústico semelhantes às observadas em condições reais de trabalho.

Ressalta-se, entretanto, que a caracterização da exposição ocupacional conforme a NR-15 requer a consideração de fatores adicionais, como tempo efetivo de exposição, variabilidade operacional, condições ambientais e dinâmica da atividade laboral, aspectos que não constituíram o objetivo deste estudo.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão. O modelo foi ajustado avaliando-se a significância ($P<0,05$) e a precisão usando o coeficiente de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

determinação ajustado (R^2). (Cornell and Berger (1986)).

Foram utilizadas rotinas do Software Estatístico R (R Core Team, 2023) para realização da Análise Hierárquica de Cluster (HCA) de forma identificar os agrupamentos naturais dos dados conforme descrito por Everitt *et al.* (2011) e Hair *et al.* (2019) e a Análise de Regressão para modelar a relação entre rotação x ruído de acordo com Montgomery *et al.* (2012).

Na HCA foi utilizado o Método de Ward para confecção dos clusters e a Distância Euclidiana (*D*) como métrica de dissimilaridade (Ward (1963)); Everitt *et al.* (2011)).

3. Resultados e Discussão

Os resultados serão discutidos na ordem cronológica da metodologia.

3.1 Análise de Regressão: Rotação x Nível de Pressão Sonora

A correlação do nível de pressão sonora pelo aumento da rotação dos motores é confirmada pela análise de regressão que confirma o grau de associação das variáveis.

A Figura 1 mostra a análise de regressão realizada para o trator John Deere quando as medições foram realizadas dentro e fora da cabine.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

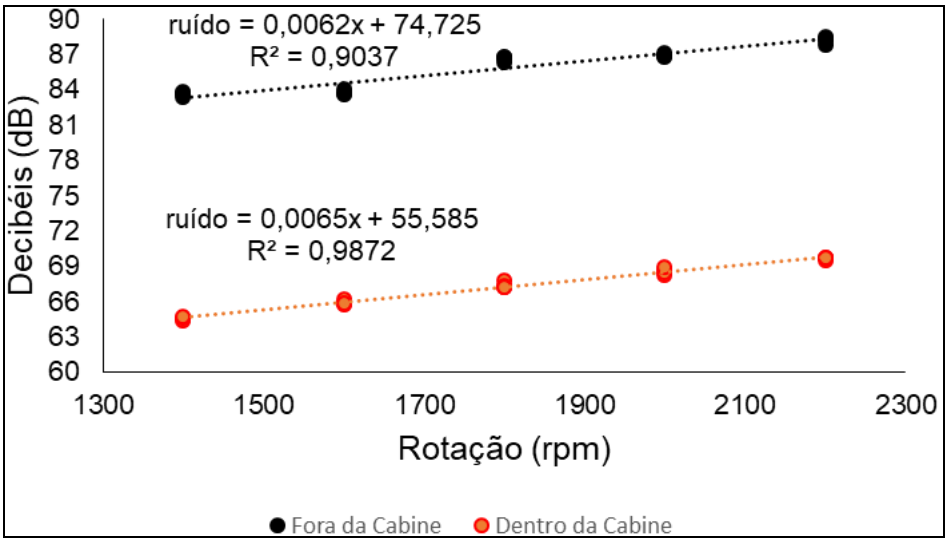
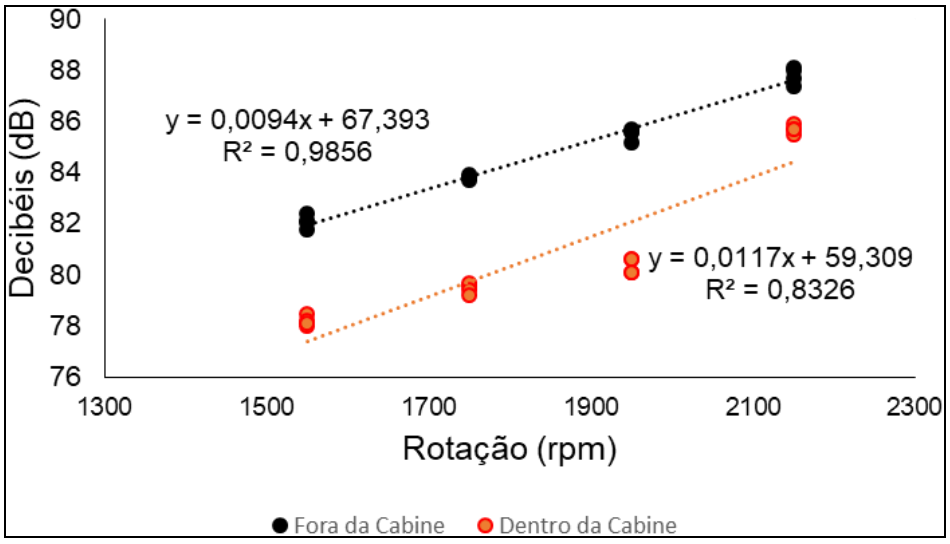


Figura 1: Regressão linear feita no Software R com dados dentro e fora da cabine
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

A Figura 1 evidencia pelos modelos lineares ajustados, que os níveis de ruído, tanto dentro quanto fora da cabine, aumentaram à medida que se aumentou a rotação do motor. Os valores foram obtidos no intervalo de 1400 rpm com 64,7 dB a 2200 rpm com 69,5 dB (dentro da cabine) e de 1400 rpm com 83,6 dB a 2200 rpm com 87,8 dB (fora da cabine). Nota-se que os modelos ajustados foram precisos em evidenciar a relação entre as variáveis com valor do coeficiente de determinação ($R^2_{ajustado}$) acima de 0,90 para fora da cabine e acima de 0,98 para dentro da cabine.

A Figura 2 mostra a Análise de Regressão realizada para o trator Yanmar 1155-4 quando as medições foram realizadas dentro e fora da cabine.



REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

Figura 2: Regressão linear feita no Software R com dados dentro e fora da cabine
Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Pela Figura 2 nota-se, assim como para o trator John Deere, que o modelo é preciso em correlacionar o aumento do nível de pressão sonora com o aumento da rotação do motor, apresentando um coeficiente de determinação ($R^2_{ajustado}$) de 0.98 fora da cabine e de 0,83, dentro, sugerindo uma correlação extremamente forte entre rotação e decibéis (dB), onde aproximadamente 98.56% da variação nos dB pode ser explicada pela variação nas rotações.

Ao realizar uma análise comparativa do aumento dos níveis de pressão sonora com o aumento da rotação do motor, percebe-se pela Figura 2, que no Trator Yanmar 1155-4, há uma maior sensibilidade do NPS a rotação, indicando que o NPS cresce de forma mais significativa com o aumento da rotação do motor. Este ponto é mostrado pela inclinação mais acentuada das linhas do gráfico da Figura 2 em relação a Figura 1.

A Tabela 3 exibe os valores das medições para cada rotação para o trator John Deere.

Tabela 3: Variação das intensidades do Nível de Pressão Sonora de acordo com a rotação do motor (dentro e fora da cabine) para o Trator John Deere

Dentro da cabine				Fora da cabine			Dif*
Rpm	**dB (A)**	$\bar{x}$[2]	**CV[3] (%)**	**dB (A)**	$\bar{x}$	**CV (%)**	$\bar{x}$ **(dB (A))**
1400	64.5	64,55	0,20	83.8	83,62	0,20	19,07
	64.4			83.7			
	64.6			83.4			
	64.7			83.6			
1600	66.2	65,9	0,33	83.7	83,77	0,22	17,87
	65.8			83.6			
	65.9			83.7			
	65.7			84.1			
1800	67.8	67,4	0,41	86.3	86,65	0,27	19,25
	67.4			86.8			
	67.2			86.8			

[2] $\bar{x}$: Média amostral da intensidade dos ruídos
[3] *CV*: Coeficiente de Variação (Erro relativo %)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

	67.2			86.7			
2000	68.7	68,6	0,37	87.1	86,92	0,14	18,32
	68.3			86.9			
	68.5			86.8			
	68.9			86.9			
2200	69.5	69,70	0,20	87.8	88,22	0,35	18,52
	69.8			88.2			
	69.7			88.4			
	69.8			88.5			

Legenda: Diferença dos níveis de pressão sonora entre a avaliação no ambiente externo e o interior da cabine, expressa em dB(A). Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Além disso, observa-se que, no Yanmar 1155-4, o isolamento acústico apresenta maior eficiência em rotações mais baixas, porém demonstra redução de desempenho em rotações mais elevadas, sugerindo que seu sistema de atenuação sonora apresenta desempenho inferior ao observado no John Deere quando ambos são submetidos às mesmas condições de teste de estresse.

A Tabela 3 demonstra que a cabine apresentou elevada eficiência na atenuação do NPS, promovendo redução média de aproximadamente 17 a 19 dB(A) nos níveis de pressão sonora. Os baixos valores do erro padrão, tanto dentro quanto fora da cabine, indicam alta consistência, baixa dispersão dos dados e medições confiáveis, sem instabilidade.

A magnitude da diferença entre os ambientes, amplamente superior aos erros amostrais evidencia que o efeito de atenuação sonora da cabine é estatisticamente significativo não sendo a diferença das medições dentro e fora medidas ao acaso. Além disso, nota-se pela Tabela 3 que o Coeficiente de Variação (CV), tanto para dentro da cabine quanto para fora, não ultrapassa 5%. A Tabela 4 exibe os valores das medições para o Trator Yanmar 1155-4.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

Tabela 4: Valores das medições dos níveis de pressão sonora em cada rotação para o Trator Yanmar 1155-4

Dentro da cabine				Fora da cabine			Dif*
RPM	**dB (A)**	$\bar{x}$[4]	**CV[5] (%)**	**dB (A)**	$\bar{x}$	**CV (%)**	$\bar{x}$ **(dB (A))**
1550	78.5	78,2	0,28	81.8	82,0	0,18	3,8
	78.0			82.1			
	78.2			82.1			
	78.1			82.4			
1750	79.6	79,5	0,27	83.8	83,8	0,09	4,3
	79.7			83.8			
	79.4			83.9			
	79.2			83.7			
1950	80.1	80,6	0,50	85.7	85,5	0,25	4,9
	80.6			85.2			
	80.6			85.6			
	81.1			85.6			
2150	85.9	85,7	0,18	87.0	87,7	0,51	2
	85.7			88.0			
	85.5			88.1			
	85.7			87.4			

Legenda: Diferença dos níveis de pressão sonora entre a avaliação no ambiente externo e o interior da cabine, expressa em dB(A). Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A Tabela 4 demonstra que a cabine proporcionou redução média de 2 a 5 dB(A) nos níveis de pressão sonora entre os ambientes avaliados. Embora os valores de atenuação observados tenham sido inferiores aos verificados para o trator John Deere, a presença da cabine evidenciou efeito atenuador relevante sobre a exposição ao ruído ocupacional. Segundo Montagnini et al. (2025), uma diferença de 5 dB(A) possui relevância significativa sob o ponto de vista ocupacional, uma vez que, de acordo com o fator de dobra (q = 5) adotado pela NR-15, cada incremento de 5 dB(A) implica a duplicação da dose de exposição ao ruído e, consequentemente, a redução pela metade do tempo máximo permitido de exposição.

[4] $\bar{x}$: Média amostral da intensidade dos ruídos
[5] *CV*: Coeficiente de Variação (Erro relativo %)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

Ao comparar os resultados obtidos para ambos os tratores com o limite de tolerância estabelecido pela NR-15 para uma jornada de 8 horas, observou-se que o trator Yanmar 1155-4 atingiu o nível de 85 dB(A) no interior da cabine apenas na rotação de 2150 rpm. Para o trator John Deere, por sua vez, o valor de 85 dB(A) foi registrado somente nas medições realizadas no ambiente externo à cabine.

Entretanto, destaca-se que a caracterização da exposição ocupacional ao ruído, conforme os critérios da NR-15, requer a consideração de variáveis adicionais, como o tempo efetivo de exposição, a variabilidade das condições operacionais, os fatores ambientais e a dinâmica real da atividade laboral, aspectos que não constituíram o foco deste estudo. Dessa forma, a utilização dos limites previstos na NR-15 teve caráter comparativo e indicativo, permitindo discutir o potencial risco ocupacional associado à emissão sonora dos tratores agrícolas avaliados em condições controladas de ensaio.

Em suma, enquanto o nível de pressão sonora pontual descreve a intensidade instantânea do ruído, a dose ocupacional diária é o parâmetro determinante para avaliação de risco, indicando a necessidade de medidas de controle, como uso de protetores auditivos e gestão do tempo de exposição.

A Tabela 5 mostra a diferença do nível de pressão sonora de fora para dentro da cabine para o Trator John Deere e para o Trator Yanmar 1155-4.

Tabela 5: Diferença das intensidades do Nível de Pressão Sonora para o trator John Deere 6110-J e Yanmar 1155-4

Rotação J. Deere	Diferença-Deere	Rotação Yanmar	Diferença-Yanmar
2200	18,3	2150	1,8
2200	18,4	2150	2,3
2200	18,7	2150	2,6
2200	18,7	2150	1,7
2000	18,4	1950	5,6
2000	18,6	1950	4,6
2000	18,3	1950	5
2000	18	1950	5,5
1800	18,5	1750	4,2
1800	19,4	1750	4,1
1800	19,6	1750	4,5
1800	19,5	1750	4,5

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

1600	17,5	1550	3,3
1600	17,8	1550	4,1
1600	17,8	1550	3,9
1600	18,2	1550	4,3
1400	19,3	-	-
1400	19,3	-	-
1400	18,8	-	-
1400	18,9	-	-

Fonte: Dados da pesquisa (2025)

Pela Tabela 5, percebe-se que há diferença no módulo dos valores de cada trator de fora para dentro e que isto pode ser em razão da diferença de potências de cada trator uma vez que o Trator Yanmar 1155-4 tem 55 cavalos de potência (hp) enquanto o motor do Trator John Deere 6110-J tem 110 cavalos de potência (hp), isto sugere que a maior diferença na intensidade do ruído seja em razão da maior potência do motor John Deere e do melhor isolamento acústico do mesmo (vice-versa).

Ademais, percebe-se que a presença da cabine, do forro acústico e demais materiais isolantes que a compõe, é eficaz em minimizar a exposição do trabalhador ao aumento do nível de ruído à medida que a rotação aumenta, mas ainda assim há um dano ao trabalhador com o aumento dos níveis de pressão sonora decorrente do aumento progressivo da aceleração.

Portanto, sugere-se que o empregador mantenha os maquinários com as revisões em dia no que se refere a manutenção de motores, engrenagens e outros componentes bem ajustados a fim de se reduzir os níveis de pressão sonora. Este fato vai ao encontro do que afirma (Marques Filho e Lanças (2022)) que mesmo diante de todos os avanços e recursos tecnológicos implementados nas cabines, que em jornadas longas de trabalho, ainda há a necessidade da utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para proteção da saúde dos operadores.

E conforme exposto por Grisso et al. (2014), estratégias adotadas como “*shift*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

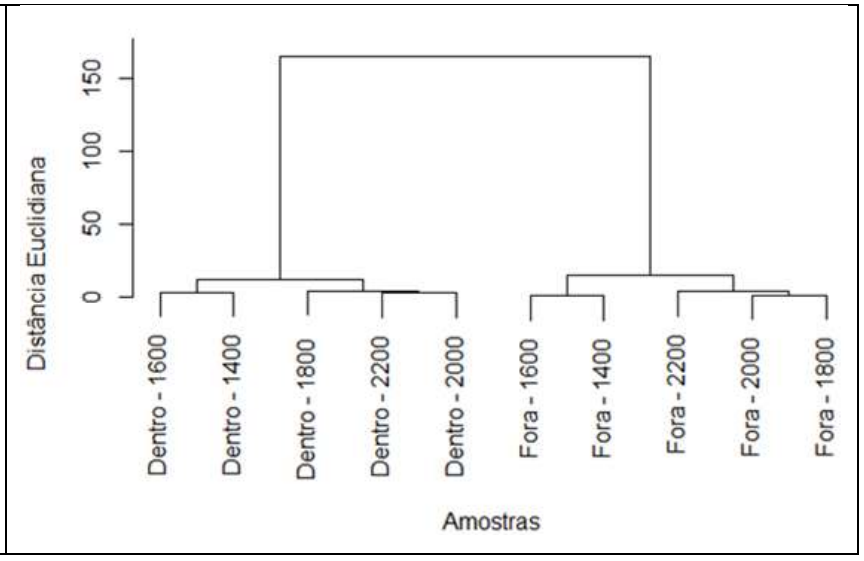
Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

up and throttle back[6]" podem evitar rotações máximas desnecessárias que aumentam os níveis de pressão sonora, consomem combustível causando fadiga nos operadores.

3.2 Análise Hierárquica de Cluster (HCA)

A HCA, utilizada como ferramenta exploratória complementar, mostrou resultados com comportamento consistente àqueles observados na análise de regressão aplicada e permitiu quantificar o grau de sensibilidade do algoritmo em agrupar os níveis de pressão sonora com grau de parecença semelhantes.

No que se refere a diferença nas rotações, evidencia-se que há manutenção nas rotações mais baixas e é comprovada pela Análise de Cluster que mostra dois grupos bem distintos quanto às medições realizadas. A Figura 3 exibe os clusters para o Trator John Deere 6110-J e para o Trator Cabinado Yanmar 1155-4.

John Deere 6110-J	

[6] Shift up and throttle back: Técnica de condução que consiste em aumentar a marcha para uma marcha mais rápida enquanto reduz a rotação do motor o que pode economizar até 40% de combustível

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

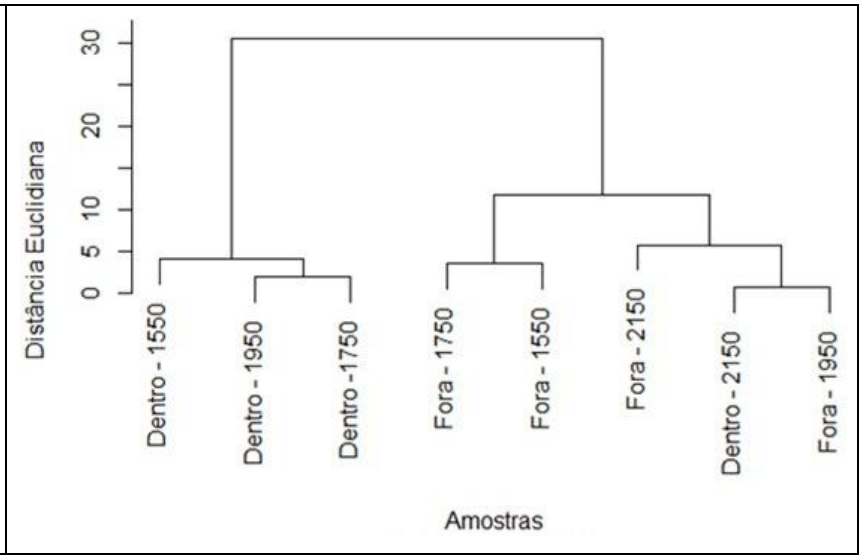
Yanmar 1155-4	

Figura 3: HCA para os tratores cabinados John Deere 6110-J e Yanmar 1155-4
Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Pela Figura 3 é possível notar que as rotinas foram robustas em separar os ruídos dentro e fora das cabines dos tratores, agrupando-os em dois grupos distintos, Dentro e Fora. Porém, nas rotações mais elevadas (1950 e 2150 rpm) do Yanmar 1155-4, observou-se menor distinção entre os agrupamentos referentes aos níveis de ruído medidos no interior e no exterior da cabine. Esse resultado sugere que, a partir de 1950 rpm, o aumento da rotação do motor reduz a diferenciação entre os ambientes analisados, indicando que os níveis de exposição sonora permanecem elevados para o operador, mesmo quando posicionado no interior da cabine.

Em suma, pode-se afirmar que a definição do número de grupos foi feita de forma a se maximizar a homogeneidade interna dos grupos e heterogeneidade externa dos grupos, neste caso, separar as intensidades dos perfis de pressão sonora entre “dentro” e “fora” da cabine e que a HCA sugere diferença estrutural dos tratores e exibe o padrão observado nas análises.

4. Conclusão

Os resultados demonstraram a efetividade das cabines em reduzir os níveis de pressão sonora independentemente da rotação e do modelo de trator.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

A correlação consistente do aumento do nível de pressão sonora medidos no posto de operação e no ambiente externo com o respectivo aumento da rotação do motor. Especificamente, foi possível realizar as medições em diferentes intensidades de rotação, evidenciando que, quanto maior a rotação, maiores foram os níveis de ruído gerados.

O protocolo empregado separou as intensidades do nível de pressão sonora dentro e fora da cabine de ambos os tr''atores em dois clusters bem definidos e os modelos ajustados precisos em evidenciar valores dos coeficientes de determinação ($R^2_{ajustado}$) acima dos 83%.

5. Nota final

Os autores declaram que ferramentas de inteligência artificial foram utilizadas como apoio na tradução de trechos para o inglês, na revisão gramatical e ortográfica do manuscrito e na formatação das referências. Todo o conteúdo foi revisado criticamente pelos autores, que se responsabilizam integralmente pelos resultados, precisão e integridade do trabalho.

6. Referências bibliográficas

ALVES, A. D. S. *Nível de potência sonora emitida por um trator agrícola*. 2009. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2009.

Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): atividades e operações insalubres. Anexo 1 – Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Disponível em: Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso em: 15 maio 2026.

CORNELL, J. A.; BERGER, R. D. *Factors that influence the value of the coefficient of determination in simple linear and nonlinear regression models*. Gainesville: University of Florida, 1986.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

EVERITT, B. S. et al. *Cluster analysis*. 5. ed. Chichester: Wiley, 2011.

FALCÃO, L. C. L. *O básico sobre o ouvido humano*. Disponível em: https://www.concepcaoacustica.com/post/o-basico-sobre-o-ouvido-humano. Acesso em: 06 fev. 2026.

FERNANDES, J. C. *Barulho ensurdecedor*. Revista Cultivar, Pelotas, fev. 2003, p. 6-8.

GRISSO, R. et al. *"Gear up and throttle down" to save fuel*. Blacksburg: Virginia Cooperative Extension, 2014.

HAIR, J. F. et al. *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2019.

MARQUES, F. P.; COSTA, E. A. *Exposição ao ruído ocupacional: alterações no exame de emissões fotoacústicas*. Revista Brasileira de Otorrinolaringologia, v. 72, n. 3, p. 362-366, 2006.

MARQUES FILHO, A. C.; LANÇAS, K. P. Can the tractor's cabin allow the noise at the operator's station? *Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas*, Tupã, v. 16, 2022. DOI: 10.18011/bioeng.2022.v16.1071.

MARTINS, O. M. *Condutas na perda auditiva induzida pelo ruído*. Belo Horizonte: ANAMT, 2000. Disponível em: http://arquivosdeorl.org.br/conteudo/acervo_port.asp?id=125. Acesso em: [12/12/2025].

MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaios e certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1996.

MONTAGNINI, C.; SILVA, A. B. da; OLIVEIRA JÚNIOR, G. G. de; SILVA, J. A. R.; FOGANHOLI, M. E. P. Tratores cafeeiros: influência da cabine e do implemento agrícola na exposição ocupacional ao ruído. In: 49º Congresso Brasileiro de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

Pesquisas Cafeeiras, 2025, Poços de Caldas, MG. *Anais [...]* Poços de Caldas, MG: Fundação Procafé, 2025. p.1 - 434. ISSN 2316-4115.

MONTEIRO, L. A. *Segurança em operações com tratores agrícolas*. Agriworld, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 58-64, jun. 2013. Disponível em: http://www.lima.ufc.br/arquivos_pdf/20131220132843.pdf. Acesso em: [10/11/2025].

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. *Introduction to linear regression analysis*. 5. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *OECD tractor codes*. Paris: OECD Publishing, 2023.

OLIVA, F. C. et al. *Mudança significativa do limiar auditivo em trabalhadores expostos a diferentes níveis de ruído*. Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, v. 16, p. 260-265, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, G. G. de O.; APARECIDO, L. E. de O.; DA SILVA, A. B.; PUTTI, F. F.; . Nível de ruído no posto de operação de um conjunto mecanizado cafeeiro submetido a diferentes rotações de trabalho / Noise level at the operating station of a mechanized coffee set subjected to different work rotations. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 10990–10999, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n2-169. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/43990. Acesso em: 15 may. 2026.

OLIVEIRA, G. S. A.; JÚNIOR, G. G. de O.; REZENDE, R. N.; PAULA, L. E. de R. e; RAMOS, J. A.; RAMIRIO, L. D.; SILVA, A. B. da; COUTINHO, P. R. do V. Variabilidade Espacial do Nível de Ruído em um Conjunto Trator-Pulverizador sob Diferentes Rotações no Cafeeiro/Spatial Variability of Noise Level in a Sprayer Tractor Set at Different Rotations in the Coffee Plant. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 11, p. 86094–86101, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-143. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19541. Acesso em: 15 may. 2026.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: https://www.r-project.org/. Acesso em: 10 out. 2024.

SIMONE, M. et al. *El tractor agrícola: fundamentos para su selección y uso*. Mendoza: INTA, 2006.

TEIXEIRA, M. L. P.; FREITAS, R. M. V. *Acidentes do trabalho rural no interior paulista*. São Paulo em Perspectiva, v. 17, n. 2, p. 81-90, 2003.

TIBIRIÇÁ, A. C. G. *Janelas: análise sistêmica para desempenho ambiental*. 1997. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

TOSIN, R. C. *Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas*. 2009. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009. Disponível em: http://hdl.handle.net/11449/101672. Acesso em: 18 abr. 2026.

VALTRA. *Série A4s – tratores*. Disponível em: https://www.valtra.com.br/produtos/tratores/serie-a4s.html. Acesso em: 29 jan. 2025.

VIAN, C. E. F. et al. *Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas*. 2014.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 04/04/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.10
DOI: 10.66104/2mjtxx41
Pages: 1-21

W NETO, N. *Perda auditiva induzida pelo ruído – PAIR*. 2026. Disponível em: https://segurancadotrabalhonwn.com/perda-auditiva-induzida-pelo-ruido-pair/. Acesso em: 05 fev. 2026.