REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E AVALIAÇÃO ATMOSFÉRICA DE POÇOS DE ELEVADORES EM SISTEMAS DE SECAGEM E BENEFICIAMENTO DE CAFÉ NOS MUNICÍPIOS DE MUZAMBINHO E NOVA RESENDE, MINAS GERAIS

STRUCTURAL CHARACTERIZATION AND ATMOSPHERIC ASSESSMENT OF ELEVATOR PITS IN COFFEE DRYING AND PROCESSING SYSTEMS IN THE MUNICIPALITIES OF MUZAMBINHO AND NOVA RESENDE, MINAS GERAIS

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y EVALUACIÓN ATMOSFÉRICA DE POZOS DE ELEVADORES EN SISTEMAS DE SECADO Y BENEFICIO DE CAFÉ EN LOS MUNICIPIOS DE MUZAMBINHO Y NOVA RESENDE, MINAS GERAIS

Willian José Gomes
Graduando em Agronomia, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: willian.gomes.agro@gmail.com

Geraldo Gomes de Oliveira Júnior
Doutor em Agricultura Sustentável, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: geraldo.junior@muz.ifsuldeminas.edu.br

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido
Doutor Agrometeorologia/Climatologia Agrícola, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: lucas.aparecido@ifsuldeminas.edu.br

Camilla dos Santos Durante
Graduanda em Agronomia, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: camilladurante020@gmail.com

Luana de Fátima da Silva
Graduanda em Agronomia, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: luannaalvesf78@gmail.com

Larissa Sales Martins Baquião
Doutora em Ciências, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: larissa.martins@muz.ifsuldeminas.edu.br

Evane da Silva
Doutor em Ciências, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: evane.silva@muz.ifsuldeminas.edu.br

Milene Dias Ferreira Magri
Mestre em Enfermagem, Instituto Federal do Sul de Minas, Brasil
E-mail: milene.magri@muz.ifsuldeminas.edu.br

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

Resumo

Nas estruturas e equipamentos de pós-colheita do café, os poços de elevadores, frequentemente localizados abaixo do nível do solo, podem se enquadrar ou se aproximar da definição de espaços confinados, descrita nas Normas Regulamentadoras NR-33 e NR-31. Este estudo teve como objetivo caracterizar estruturalmente poços de elevadores utilizados em sistemas de secagem e beneficiamento de café, bem como avaliar os níveis de oxigênio e a presença de contaminantes atmosféricos. A pesquisa foi conduzida entre outubro de 2024 e novembro de 2025 em 12 propriedades cafeeiras localizadas nos municípios de Muzambinho e Nova Resende, no sul de Minas Gerais, totalizando a avaliação de 26 poços de elevadores. Foram mensuradas as dimensões físicas para a estimativa do volume interno e realizada avaliação atmosférica com detector portátil multigás, sem entrada de trabalhadores, utilizando bomba de aspiração e mangueira, com medições na abertura e no fundo dos poços. Os parâmetros analisados incluíram oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e limite inferior de explosividade (LIE). Os resultados indicaram elevada variabilidade estrutural, com profundidade média de 2,75 m e volume médio de 8,96 m³. As concentrações de oxigênio mantiveram-se em 20,9% em todos os pontos avaliados, não sendo observada deficiência desse gás. O monóxido de carbono foi detectado pontualmente em um poço, em concentrações inferiores aos limites de exposição ocupacional. Contudo, esses achados não devem ser interpretados como garantia de segurança em todos os poços de elevadores das estruturas de pós-colheita do café, uma vez que a estabilidade observada reflete condições pontuais de cada ambiente e não exclui a possibilidade de alterações atmosféricas em situações específicas, reforçando a necessidade de monitoramento atmosférico prévio e de gestão preventiva dos riscos, conforme as diretrizes das Normas Regulamentadoras NR-33 e NR-31.

Palavras-chave: Monitoramento de gases; Pós-colheita agrícola; Segurança e saúde no trabalho.

Abstract

In coffee post-harvest facilities and equipment, elevator pits-often located below ground level-may meet or closely approximate the definition of confined spaces, as described in Brazilian Regulatory Standards NR-33 and NR-31. This study aimed to structurally characterize elevator pits used in coffee drying and processing systems and to assess oxygen levels and the presence of atmospheric contaminants. The research was conducted between October 2024 and November 2025 in 12 coffee farms located in the municipalities of Muzambinho and Nova Resende, in southern Minas Gerais, Brazil, totaling 26 evaluated elevator pits. Physical dimensions were measured to estimate internal volume, and atmospheric assessments were performed using a portable multigas detector, without worker entry, employing a sampling pump and hose, with measurements taken at the pit opening and bottom. The analyzed parameters included oxygen (O_2), carbon monoxide (CO), hydrogen sulfide (H_2S), and the lower explosive limit (LEL). The results indicated high structural variability, with an average depth of 2.75 m and a mean volume of 8.96 m³. Oxygen concentrations remained at 20.9% at all evaluated points, with no evidence of oxygen deficiency. Carbon monoxide was detected sporadically in one pit, at concentrations below occupational exposure limits. However, these findings should not be interpreted as a guarantee of safety in all elevator pits within coffee post-harvest facilities, as the observed stability reflects site-specific conditions and does not exclude the possibility of atmospheric changes under particular circumstances. This reinforces the need for prior atmospheric monitoring and preventive risk management in accordance with the guidelines of Brazilian Regulatory Standards NR-33 and NR-31.

Keywords: Agricultural post-harvest; Gas monitoring; Occupational safety and health.

Resumen

En las estructuras y equipos de poscosecha del café, los pozos de elevadores, frecuentemente ubicados por debajo del nivel del suelo, pueden cumplir o aproximarse a la definición de espacios confinados, según lo descrito en las Normas Reguladoras brasileñas NR-33 y NR-31. Este estudio

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

tuvo como objetivo caracterizar estructuralmente los pozos de elevadores utilizados en sistemas de secado y beneficio del café, así como evaluar los niveles de oxígeno y la presencia de contaminantes atmosféricos. La investigación se llevó a cabo entre octubre de 2024 y noviembre de 2025 en 12 propiedades cafetaleras ubicadas en los municipios de Muzambinho y Nova Resende, en el sur de Minas Gerais, Brasil, totalizando la evaluación de 26 pozos de elevadores. Se midieron las dimensiones físicas para estimar el volumen interno y se realizó la evaluación atmosférica mediante un detector portátil multigás, sin ingreso de trabajadores, utilizando una bomba de aspiración y una manguera, con mediciones en la abertura y en el fondo de los pozos. Los parámetros analizados incluyeron oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y límite inferior de explosividad (LIE). Los resultados indicaron una elevada variabilidad estructural, con una profundidad media de 2,75 m y un volumen medio de 8,96 m³. Las concentraciones de oxígeno se mantuvieron en 20,9% en todos los puntos evaluados, sin observarse deficiencia de este gas. El monóxido de carbono fue detectado de manera puntual en un pozo, en concentraciones inferiores a los límites de exposición ocupacional. Sin embargo, estos hallazgos no deben interpretarse como garantía de seguridad en todos los pozos de elevadores de las estructuras de poscosecha del café, ya que la estabilidad observada refleja condiciones específicas de cada ambiente y no excluye la posibilidad de cambios atmosféricos en situaciones particulares. Esto refuerza la necesidad de un monitoreo atmosférico previo y de una gestión preventiva de los riesgos, conforme a las directrices de las Normas Reguladoras brasileñas NR-33 y NR-31.

Palabras clave: Monitoreo de gases; Poscosecha agrícola; Seguridad y salud en el trabajo.

1. Introdução

A cafeicultura desempenha papel estratégico na economia brasileira, consolidando o Brasil como o maior produtor e exportador mundial de café, com destaque para a espécie *Coffea arabica* (Araújo et al., 2023). Nesse cenário, o estado de Minas Gerais, concentra aproximadamente 1,4 milhão de hectares cultivados, dos quais cerca de 99% são destinados à produção de café arábica, correspondendo a aproximadamente 62% da área cafeeira nacional, o que o posiciona como principal polo produtivo do país (CONAB, 2025).

Nas etapas de pós-colheita do café, são amplamente utilizados equipamentos e infraestruturas como moegas, abanadores, lavadores, descascadores, desmuciladores, secadores, beneficiadores e tulhas (SENAR, 2017), interligados por sistemas de transporte vertical e horizontal, com elevadores de caneca, roscas sem-fim e correias transportadoras. Em muitas unidades de processamento, a base desses elevadores encontra-se abaixo do nível do solo, formando compartimentos conhecidos como poços de elevadores, que requerem eventualmente a entrada de trabalhadores para atividades de limpeza, manutenção ou inspeção.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

Esses ambientes apresentam características que os enquadram ou os aproximam da definição de espaços confinados, conforme estabelecido nas Normas Regulamentadoras brasileiras NR-31 e NR-33, por não serem projetados para ocupação humana contínua, possuírem acesso restrito para entrada e saída e apresentarem potencial para o desenvolvimento de atmosferas perigosas (BRASIL, 2020; BRASIL, 2022).

De acordo com a NR-33, considera-se atmosfera perigosa aquela que apresenta deficiência ou enriquecimento de oxigênio (O_2), presença de contaminantes tóxicos ou risco de inflamabilidade e explosividade. O valor de referência para entrada segura em espaços confinados é de 20,9% de O_2 em volume, sendo aceitas concentrações entre 19,5% e 23%, desde que as causas da variação sejam conhecidas e controladas (BRASIL, 2022).

Segundo Wuthichotwanichij e Geater (2015), a redução da concentração volumétrica de oxigênio nesses ambientes pode ocorrer em decorrência de reações que promovem o consumo de O_2 no interior do espaço, da substituição do oxigênio por outros gases ou ainda do acúmulo de gases tóxicos que alteram a composição atmosférica.

A exposição a atmosferas com baixa concentração de oxigênio pode resultar em comprometimento da coordenação motora, fadiga, alterações respiratórias, cefaleia, perda de consciência, parada respiratória e, em situações extremas, óbito (Barros; Rodrigues; Santos, 2012).

Além da deficiência de oxigênio, diferentes gases podem estar presentes nesses ambientes, como o metano (CH_4), oriundo da decomposição de resíduos orgânicos; o sulfeto de hidrogênio (H_2S), gerado em processos de biodegradação da matéria orgânica; o monóxido de carbono (CO), caracterizado por elevada toxicidade e alta afinidade pela hemoglobina; e o dióxido de carbono (CO_2), cujo acúmulo pode resultar em hipóxia (BRASIL, 2013).

Nesse contexto, a avaliação atmosférica constitui etapa essencial para a preservação da vida e da saúde dos trabalhadores, uma vez que os asfixiantes simples, como CO_2 e CH_4, reduzem a pressão parcial de oxigênio no ar, enquanto os asfixiantes químicos, como CO e H_2S, interferem no transporte e na utilização

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

do oxigênio pelo organismo (Colacioppo, 2020). Além disso, gases asfixiantes como CH_4, H_2S e CO, também podem representar risco de inflamabilidade quando suas concentrações estão entre Limite Inferior de Inflamabilidade ou Explosividade (LIE) e o Limite Superior de Inflamabilidade ou Explosividade (LSE) (BRASIL, 2013; Spinelli, 2020).

Em diversos contextos produtivos, os espaços confinados e os agentes de risco associados não são devidamente identificados, inventariados e avaliados. Essa condição favorece a ocorrência de acidentes, uma vez que situações de perigo podem se desenvolver ou se agravar em função das atividades executadas, das condições operacionais e das características estruturais do ambiente (Fonseca et al., 2021).

A ventilação adequada desempenha papel fundamental na manutenção de níveis seguros de oxigênio, na remoção de contaminantes atmosféricos e na prevenção da formação de atmosferas perigosas. Entretanto, a ventilação natural pode ser limitada pelas dimensões e configurações estruturais desses ambientes, dentre as quais pela diferença de altura entre os pontos de entrada e saída do ar e pela restrição das aberturas disponíveis (BRASIL, 2013).

Apesar da relevância do tema, observa-se escassez de estudos que caracterizem fisicamente os poços de elevadores utilizados em estruturas de secagem e beneficiamento de café, bem como que quantifiquem os níveis de oxigênio e outros gases nesses ambientes. Essa lacuna científica dificulta a adequada avaliação dos riscos ocupacionais e a proposição de medidas preventivas específicas para a realidade da cafeicultura.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo caracterizar estruturalmente poços de elevadores utilizados em sistemas de secagem e beneficiamento de café e avaliar os níveis de oxigênio e a presença de contaminantes atmosféricos nos municípios de Muzambinho e Nova Resende em Minas Gerais.

2. Metodologia

O estudo foi conduzido entre outubro de 2024 e novembro de 2025 em propriedades cafeeiras localizadas na região sul do estado de Minas Gerais,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

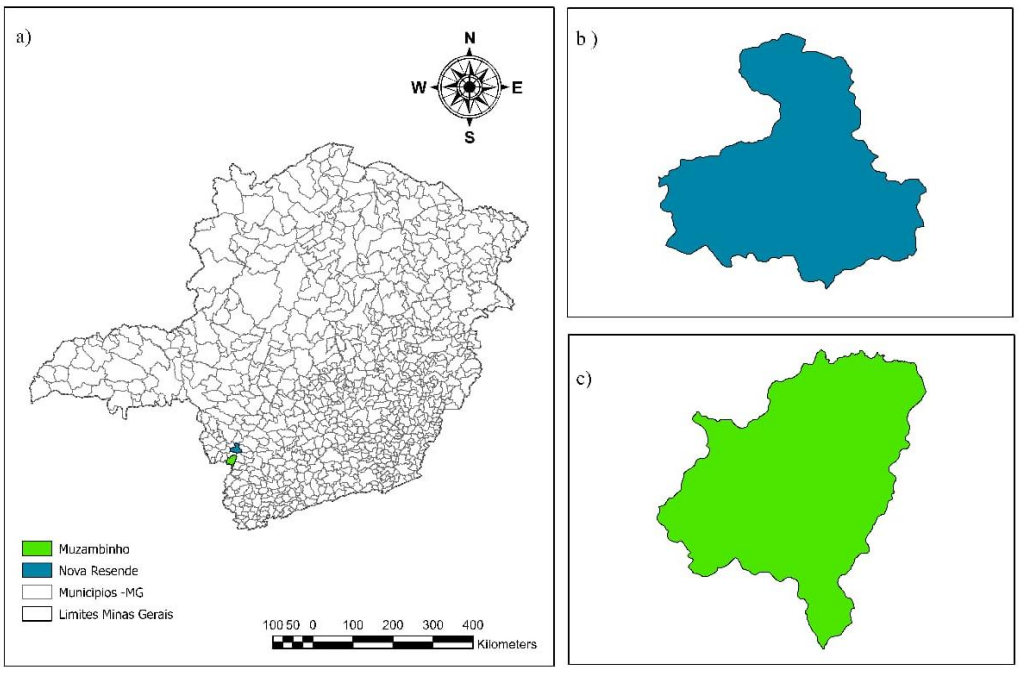
adotando critério observacional, descritivo e analítico, baseado em estudos de caso. De acordo com Severino (2007), o estudo de caso tem por finalidade aprofundar o conhecimento sobre uma realidade específica e representativa, exigindo que os dados sejam coletados, sistematizados e analisados com rigor metodológico

A investigação foi estruturada em três etapas principais: (1) seleção das propriedades e dos ambientes avaliados; (2) caracterização estrutural dos poços de elevadores; (3) avaliação da composição atmosférica, com ênfase nos níveis de oxigênio e na presença de contaminantes gasosos.

2.1 Seleção das propriedades e dos ambientes

Foram selecionadas 12 propriedades cafeeiras localizadas nos municípios de Muzambinho (n = 4), com altitude média de 1.100 m, e Nova Resende (n = 8), com altitude média de 1.252 m, que possuíam sistemas mecanizados de pós-colheita de café, incluindo elevadores verticais com bases posicionadas abaixo do nível do solo (Figura 1).

Figura 1. Localização geográfica dos municípios de Muzambinho e Nova Resende - MG.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

A seleção das propriedades ocorreu por conveniência e acessibilidade, considerando unidades em plena operação durante o período de colheita da safra 2025/2026. Dessa forma, os resultados obtidos possuem caráter exploratório e descritivo, não sendo estatisticamente representativos de todas as estruturas de pós-colheita dos municípios avaliados.

Foram avaliados 26 poços de elevadores verticais construídos em alvenaria, todos com uma única abertura utilizada como ponto de entrada e saída. Embora nem todos os ambientes atendessem simultaneamente aos critérios formais para classificação como espaços confinados, conforme estabelecido pela NR-33, todos foram considerados, de forma preliminar, ambientes com potencial para o desenvolvimento de atmosferas perigosas, o que justificou a adoção dos procedimentos de avaliação previstos na referida norma. No momento das avaliações, os poços de elevadores não apresentavam lâmina d'água em seu interior nem acúmulo de material orgânico.

Durante as visitas técnicas, constatou-se que, das 12 propriedades avaliadas, apenas uma realizava monitoramento atmosférico e adotava procedimentos para entrada e trabalho, conforme previsto na NR-33 e NR 31.

2.2 Caracterização estrutural

A caracterização física dos poços incluiu a medição das dimensões internas de largura (L), comprimento (C) e profundidade (P), realizadas com trenas métricas graduadas em milímetros. As medições foram efetuadas durante condições normais de operação das estruturas de pós-colheita, sem interrupção das atividades produtivas.

O volume interno de cada poço foi estimado a partir do produto das dimensões medidas ($V = L \times C \times P$).

2.3 Avaliação atmosférica

A avaliação atmosférica foi avaliada por meio de um detector portátil multigás (BOSEAN Multi Gás, nº de série 250115912), equipado com sensores eletroquímicos para oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO) e sulfeto de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

hidrogênio (H_2S), além de sensor de combustão catalítica para detecção de gases inflamáveis, expressos como percentual do limite inferior de explosividade (LIE).

O equipamento apresenta tempo de resposta inferior a 30 segundos, faixa de operação entre -20 °C e 50 °C e umidade relativa inferior a 95%. Possui faixas de medição de 0 a 100 ppm para sulfeto de hidrogênio (H_2S), 0 a 1.000 ppm para monóxido de carbono (CO), 0 a 30% em volume para oxigênio (O_2) e 0 a 100% do limite inferior de explosividade (LIE). O detector é dotado de alarmes sonoro, visual e vibratório, acionados automaticamente ao atingir os valores de alarme programados: deficiência de oxigênio a 19,5% em volume e enriquecimento a 23% em volume; explosividade a 10% do LIE; monóxido de carbono a 25 ppm (*TWA - ACGIH*); e sulfeto de hidrogênio a 1 ppm (*TWA - ACGIH*) e 5 ppm (*STEL - ACGIH*).

O sensor de O_2 possui resolução de 0,1% em volume; os sensores de H_2S e CO, de 1 ppm; e o de LIE, de 1%. Conforme especificações do fabricante, foi realizada verificação funcional do equipamento, incluindo checagem de carga e ajuste em ar limpo (auto-zero), em conformidade com a NR-33, que estabelece a referência zero para gases inflamáveis e contaminantes e o ajuste do sensor de oxigênio à concentração normal do ar atmosférico (BRASIL, 2022).

Antes do início das medições, o detector foi ligado e mantido em estabilização por, no mínimo, cinco minutos, conforme recomendação do fabricante.

As medições atmosféricas foram realizadas sem a entrada de trabalhadores nos poços, utilizando mangueira flexível acoplada a bomba de aspiração elétrica (modelo KBG-100, Instrutherm). As amostragens ocorreram em dois níveis verticais distintos: (1) região da abertura do poço; (2) região próxima ao fundo. A definição dos pontos de amostragem levou em conta a densidade relativa dos gases avaliados (Tabela 1), de modo a aumentar a sensibilidade da detecção de contaminantes potencialmente mais pesados ou mais leves que o ar.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

Tabela 1: Densidade relativa dos gases

Gás	Massa Molar (g/mol)	Densidade Relativa (Ar = 1)
CO	28,01	0,97
H_2S	34,08	1,19
CH_4	16,04	0,55
O_2	32,00	1,11

Legenda: Massa Molar do Ar ≈ 28,97 g/mol. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Para cada ponto de medição, foram realizadas cinco leituras consecutivas, com intervalo entre elas, permitindo avaliar a estabilidade temporal da atmosfera durante o período de monitoramento. As cinco leituras realizadas em cada ponto amostral foram utilizadas para o cálculo da média aritmética local. Posteriormente, a variabilidade entre os 26 poços foi estimada por meio das medidas de tendência central (média) e dispersão (desvio-padrão).

2.4 Parâmetros de referência e análise estatística

Os valores obtidos foram comparados aos limites e critérios estabelecidos pelas Normas Regulamentadoras NR-33 e NR-15 (BRASIL, 1978; BRASIL, 2022), bem como às recomendações da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) (ABHO, 2025), especialmente no que se refere aos níveis aceitáveis de oxigênio e aos limites de exposição ocupacional para gases tóxicos.

Os dados coletados foram submetidos à análise estatística descritiva, incluindo medidas de tendência central (média e mediana) e dispersão (desvio-padrão), aplicadas tanto às variáveis estruturais quanto às concentrações de oxigênio e contaminantes gasosos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização estrutural dos poços de elevadores

Os poços de elevadores avaliados apresentaram comprimento médio de 1,99 m (±0,79m), largura média de 1,48 m (±0,35m) e profundidade média de 2,75 m (±0,96m), evidenciando elevada heterogeneidade dimensional, especialmente em relação à profundidade e comprimento (Tabela 2).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

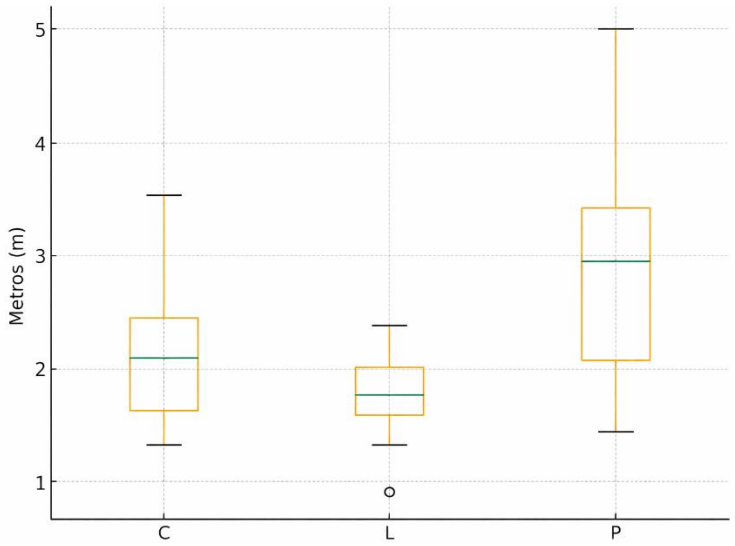
Tabela 2: Caracterização estrutural e avaliação dos níveis de oxigênio (O_2) e monóxido de carbono (CO) em poços de elevadores de estruturas de secagem e beneficiamento de café nos Municípios de Muzambinho e Nova Resende - MG

Variável	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	C.V (%)[1]
Comprimento (m)	1,99	0,79	1,00	3,50	39,69
Largura (m)	1,48	0,35	0,40	2,20	23,64
Profundidade (m)	2,75	0,96	1,30	5,00	34,90
Volume (m^3)	8,96	6,23	1,44	21,06	-
O_2 na abertura (%)	20,9	0,00	20,9	20,9	-
O_2 no fundo do poço (%)	20,9	0,00	20,9	20,9	-
CO na abertura (ppm)*	-	-	0	10	-
CO no fundo do poço (ppm)*	-	-	0	19	-

Legenda: *A presença de CO foi registrada apenas em um dos poços de elevadores. [1] Coeficiente de Variação em porcentagem. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Essa variabilidade estrutural reflete a ausência de padronização construtiva nessas estruturas de pós-colheita. A análise exploratória dos dados indica que a profundidade apresentou maior amplitude interquartílica e presença de valores extremos, sugerindo maior dispersão em comparação às demais dimensões (Figura 2).

Figura 2 - Box plot das dimensões estruturais dos poços de elevadores



Legenda: Comprimento (C); Largura (L); Profundidade (P). **Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

Em termos de gestão de riscos, esse achado é relevante, uma vez que poços mais profundos tendem a apresentar maior dificuldade de renovação do ar. De acordo com Spinelli (2020), a ventilação natural, em geral, não se configura como uma alternativa plenamente eficaz, pois seu desempenho depende de múltiplas variáveis que fogem ao controle dos trabalhadores, como as condições de temperatura e pressão atmosférica, a dinâmica do ar no ambiente externo, a localização das aberturas de entrada e saída e as próprias características construtivas da edificação.

Por outro lado, a menor variabilidade observada na largura sugere certo grau de padronização construtiva, possivelmente associada às dimensões dos equipamentos instalados. Ainda assim, a ocorrência de valores atípicos reforça a necessidade de avaliação individualizada de cada ambiente, conforme preconizado pelo Guia Técnico da NR-33, que destaca que os riscos em ambientes confinados são fortemente influenciados pelas características estruturais, a dificuldade de movimentação e execução das atividades, a ventilação natural insuficiente ou inexistente e as restrições nos meios de acesso e saída (BRASIL, 2013).

Ressalta-se que, no contexto da cafeicultura, fatores como o nível tecnológico empregado nas unidades de pós-colheita, o tipo de sistema de transporte de café utilizado (elevadores de caneca, roscas sem-fim, correias transportadoras), a idade das estruturas e o padrão construtivo adotado à época da instalação podem influenciar tanto as dimensões quanto as condições atmosféricas dos poços avaliados. Tais variáveis configuram possíveis vieses estruturais associados à amostragem por conveniência, uma vez que propriedades com diferentes níveis de modernização podem apresentar características construtivas e operacionais distintas.

3.2 Volume dos ambientes e implicações na dinâmica atmosférica

O volume interno dos poços apresentou elevada heterogeneidade, com valor médio de 8,96 m³ e variação entre 1,44 e 21,06 m³ (Tabela 2), resultado diretamente associado às diferenças observadas nas dimensões estruturais. Ambientes com volumes reduzidos tendem a apresentar maior suscetibilidade a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

rápidas alterações na composição atmosférica, uma vez que pequenas emissões de gases ou variações nas condições de ventilação podem provocar mudanças significativas nas concentrações de contaminantes. Embora volumes maiores possam favorecer uma diluição inicial de gases nocivos, essa condição não elimina o risco de formação de atmosferas perigosas, especialmente em espaços de maior profundidade e com ventilação limitada ou inexistente.

Além disso, a determinação do volume é essencial para a estimativa da taxa de renovação do ar, especialmente quando se fizer necessária a ventilação mecânica. Em muitas situações, a ventilação natural pode ser insuficiente em razão da variabilidade da velocidade e da vazão do ar, da dificuldade de controle do seu direcionamento, da irregularidade dos ventos, das características das aberturas e da diferença de altura entre os pontos de entrada e saída do ar, conforme descrito no Guia Técnico da NR-33 (BRASIL, 2013).

De modo geral, os poços de elevadores das estruturas de pós-colheita de café apresentam apenas uma abertura, utilizada simultaneamente como ponto de entrada, saída e ventilação, configuração observada em 100% dos poços avaliados neste estudo. A ausência de uma segunda abertura inviabiliza a ventilação cruzada, dificultando a renovação do ar e podendo favorecer a permanência de contaminantes. Diante disso, recomenda-se que, em projetos de construção ou adequação desses poços, seja avaliada a viabilidade técnica da implantação de uma segunda abertura, de modo a favorecer a ventilação natural vertical e horizontal.

3.3 Avaliação da concentração de oxigênio

Em relação à composição atmosférica, as concentrações de oxigênio mantiveram-se constantes em 20,9%, tanto na abertura quanto no fundo dos poços avaliados, não sendo observados indícios de deficiência de O_2 durante o período de monitoramento (Tabela 2). A constância dos valores de O_2 (20,9% ± 0,00) sugere estabilidade das condições ambientais no momento das medições. Entretanto, o desvio-padrão igual a zero pode estar associado à resolução instrumental do sensor (0,1% em volume). Ressalta-se que, conforme descrito na

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

metodologia, antes de cada avaliação foi realizado o ajuste em ar limpo (auto-zero) do sensor de oxigênio, para a concentração atmosférica normal, garantindo conformidade com a NR-33 (BRASIL, 2022).

A manutenção de concentrações adequadas de oxigênio (O_2) constitui condição favorável à segurança dos trabalhadores que adentram nestes locais, uma vez que valores inferiores a 20,9% podem caracterizar ambientes imediatamente perigosos à vida ou à saúde (IPVS), conforme preconizado no Programa de Proteção Respiratória (FUNDACENTRO, 2016). Ressalta-se, que de acordo com a NR-33, a concentração de oxigênio é considerada aceitável quando situada entre 19,5% e 23% em volume, desde que as causas de eventual redução ou enriquecimento estejam identificadas e controladas.

Ainda assim, os resultados devem ser interpretados com cautela, pois a estabilidade observada reflete condições pontuais de avaliação e não exclui a possibilidade de alterações atmosféricas decorrentes da presença de asfixiantes simples, consumo de oxigênio ou ineficiência da ventilação. As medições foram realizadas durante operação, sem contemplar diferentes cenários operacionais, como variações nas fases de combustão da fornalha, tipo de combustível utilizado, estado de conservação dos equipamentos ou eventuais vazamentos de gases. Também não foram avaliadas diferentes restrições de ventilação associadas à configuração estrutural e à disposição dos equipamentos, fatores que podem influenciar a dinâmica atmosférica desses ambientes.

Além disso, deve-se considerar a dinâmica sazonal da cafeicultura. Após o período de colheita e processamento, as estruturas de pós-colheita permanecem inativas por determinado intervalo de tempo. No reinício das atividades, são realizadas intervenções de manutenção e limpeza, especialmente na base dos elevadores (“pé de elevador”). O eventual acúmulo de resíduos orgânicos, como restos de café, palha e casca remanescentes da safra anterior, pode favorecer processos de decomposição e contribuir para a geração de gases asfixiantes.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

3.4 Presença de monóxido de carbono e outros gases

A presença de monóxido de carbono foi registrada em apenas um poço, com concentrações de 10 ppm na abertura e 19 ppm no fundo (Tabela 2), valores inferiores aos limites de exposição ocupacional estabelecidos pela *ACGIH* (25 ppm - TWA) e pela NR-15 (39 ppm). Ainda assim, a detecção de CO é relevante sob a perspectiva preventiva, pois evidências preliminares durante o estudo sugerem possível associação com vazamentos no sistema de exaustão da fornalha utilizada na queima de casca de café. A ocorrência pontual desse gás indica possível influência da proximidade estrutural entre o poço de elevador e a fornalha de secagem, indicando que a disposição espacial desses equipamentos pode impactar o risco atmosférico local, especialmente na presença de danos estruturais no sistema de combustão ou no duto de exaustão.

Estudos de Cieslinski et al. (2014) apontaram que as maiores emissões de CO decorrentes da queima de casca de café ocorrem na fase de incandescência, enquanto as emissões de CO_2 predominam na fase de chama. O monóxido de carbono é classificado como asfixiante químico, capaz de comprometer o transporte de oxigênio no organismo por sua elevada afinidade com a hemoglobina (Colacioppo, 2020). Assim, a presença de CO, ainda que pontual, reforça a necessidade de monitoramento atmosférico sistemático antes e durante a realização de atividades nesses ambientes.

Não foram detectadas concentrações mensuráveis de sulfeto de hidrogênio (H_2S) nem indícios de atmosfera inflamável, configurando cenário favorável sob o ponto de vista da segurança. Além disso, a ausência desses contaminantes no período avaliado não exclui a possibilidade de sua formação futura, especialmente na presença de material orgânico em decomposição e lâmina de água, condições que podem favorecer a geração e a liberação de gases tóxicos, como o H_2S, em particular quando ocorre a ruptura da tensão superficial da água (Szydlowski, 2026). Ressalta-se que, no momento das avaliações, os poços de elevadores não apresentavam lâmina d'água em seu interior nem acúmulo de material orgânico.

Constatou-se, ainda, a ausência da prática de avaliação formal dos riscos atmosféricos e de procedimentos de entrada e trabalho em 11 das 12 propriedades

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

avaliadas (91,6%). Essa situação demanda atenção, pois, conforme Botti, Mora e Ferrari (2022), a implementação de um programa sistemático de identificação, avaliação e controle de riscos deve preceder o acesso a espaços confinados, a fim de mitigar os perigos inerentes às atividades desenvolvidas nesses ambientes.

4. Limitações do Estudo

O presente estudo apresenta limitações metodológicas. A amostragem por conveniência restringe a realização de inferências estatísticas para a região investigada. As avaliações atmosféricas foram pontuais, não contemplando diferentes fases operacionais ou variações temporais da dinâmica atmosférica.

Além disso, não foi realizada a mensuração de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), em razão da ausência de sensores específicos para esses gases. Essa limitação constitui restrição analítica adicional, especialmente no caso do CO_2, que pode ser gerado em processos de combustão completa de materiais como a madeira e atuar como asfixiante simples. O CH_4, por sua vez, além do potencial asfixiante, pode representar risco de inflamabilidade.

Estudos futuros podem incorporar monitoramento contínuo ou medições em diferentes momentos operacionais, incluindo cenários críticos simulados, a fim de ampliar a compreensão da variabilidade atmosférica e fortalecer a análise do risco ocupacional nesses ambientes.

5. Conclusão

Os poços de elevadores avaliados apresentaram elevada variabilidade estrutural, especialmente quanto à profundidade e ao volume, evidenciando a ausência de padronização construtiva.

Nas condições analisadas, as concentrações de oxigênio mantiveram-se dentro dos limites considerados seguros, tanto na abertura quanto no fundo dos poços, não sendo observados indícios de deficiência de O_2. O monóxido de carbono foi detectado em apenas um poço de elevador, em concentrações inferiores aos limites de exposição ocupacional.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

Contudo, os achados devem ser interpretados no contexto das propriedades avaliadas, não sendo possível extrapolar os resultados para a região sul de Minas Gerais, em razão do delineamento observacional e da amostragem por conveniência.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPEMIG/IFSULDEMINAS pelo apoio à realização deste estudo, por meio da concessão de bolsa de Iniciação Científica, no âmbito do Edital PIBIC nº 131/2024.

Transparência editorial

Para a elaboração deste manuscrito, os autores utilizaram o modelo de linguagem ChatGPT, desenvolvido pela OpenAI, como ferramenta de apoio à revisão gramatical e à tradução do *abstract* e do *resumen*, sem prejuízo da responsabilidade integral dos autores pelo conteúdo, análise e conclusões apresentadas.

Referências

ARAÚJO, M. dos R. P.; DA SILVA, P. L.; DA ROCHA, A. P. S. Cafeicultura: evolução do café no Brasil, Minas Gerais e no município de João Pinheiro - MG. *Revista Contemporânea*, [S. l.], v. 3, n. 11, p. 21683–21706, 2023. DOI: 10.56083/RCV3N11-091. Disponível em: https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/2166. Acesso em: 6 jan. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS (ABHO). TLVs® e BEIs® - 2025: Baseado na Documentação dos Limites de Exposição Ocupacional para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índices Biológicos de Exposição da ACGIH. São Paulo: ABHO, 2025. 302 p.

BARROS, B. F.; RODRIGUES, J. E.; SANTOS, R. H. P. dos. NR-33: guia prático de análise e aplicações: norma regulamentadora de segurança em espaços confinados. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012. 192 p.

BOTTI, Lucia.; MORA, Cristina.; FERRARI, Emilio. Design of a digital tool for the identification of confined spaces. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 76, 104731, May 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104731

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

BRASIL. Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15): atividades e operações insalubres. Anexo 11 - agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho. Brasília, DF: Ministério do Trabalho, 1978. Disponível em: https://www.gov.br. Acesso em: 6 fev. 2026.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Guia técnico da NR-33: segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego; FUNDACENTRO, 2013.

BRASIL. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Portaria nº 22.677, de 22 de outubro de 2020. Aprova a nova redação da Norma Regulamentadora nº 31 - Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária, Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, out. 2020. Disponível em: https://www.gov.br. Acesso em: 5 fev. 2026.

BRASIL. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Portaria nº 1.690, de 15 de junho de 2022. Atualiza a Norma Regulamentadora nº 33 – Segurança e Saúde nos Trabalhos em Espaços Confinados. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, seção 1, jun. 2022. Disponível em: https://www.gov.br. Acesso em: 5 fev. 2026.

CIESLINSKI, J. E. F.; COSTA, M. A. M.; MELO, J. J. P.; FILHO, F. A. Emissão de gases poluentes com a queima de casca de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ), 20., 2014, Florianópolis. *Anais…* Florianópolis: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2014. p. 1–8.

COLACIOPPO, S. Higiene e toxicologia ocupacional. 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), 2020. Disponível em: https://abho.org.br/wp-content/uploads/2024/02/ABHO_2020_HIGIENE_E_TOXICOLOGIA.pdf. Acesso em: 5 fev. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira: café. 4. levantamento, safra 2025, n. 4, v. 12, dez. 2025. Brasília, DF: CONAB, 2025. ISSN 2318-7913. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe/4o-levantamento-de-cafesafra-2025/boletim-cafe-dezembro-2025. Acesso em: 6 jan. 2026.

FONSECA, A. R.; CALADO, C.; BOMFIM, H.; FIGUEIREDO, S. C. NR-33: a importância de sua aplicação para a segurança no trabalho em espaço confinado. In: SEGURANÇA E GESTÃO: a multidisciplinaridade e os avanços tecnológicos. v. 1. 2021.

FUNDACENTRO. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. Programa de Proteção Respiratória: recomendações, seleção e uso de respiradores. 4. ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 2016. 209 p. Disponível em: https://www.gov.br/fundacentro. Acesso em: 6 fev. 2026.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 25/01/2026 - **Accepted:** 11/02/2026
Vol: 02.02
DOI: 10.61164/s0sy6g91
Pages: 1-18

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). Café: colheita e pós-colheita. Brasília, DF: SENAR, 2017. (Coleção SENAR, n. 191). Disponível em: https://www.senar.org.br. Acesso em: 6 fev. 2026.

SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SPINELLI, L. E. *Manual sobre ventilação em espaços confinados*. São Paulo: L. E. Spinelli, 2020. 71 p. Disponível em: <https://www.spinelli.blog.br\>. Acesso em: 6 fev. 2026

SZYDLOWSKI, A. Risco oculto: exposição do trabalhador em espaços confinados de armazéns de grãos pode ser letal. *Revista Proteção*, ed. 409, p. 76, jan. 2026.

WUTHICHOTWANICHIJ, Gobchok; GEATER, Alan F. Low-oxygen atmosphere and its predictors among agricultural shallow wells in Northern Thailand. *Safety and Health at Work*, v. 6, n. 1, p. 18–24, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.shaw.2014.10.005