



**PBPC**  
ISSN 2674-9432



**Qualis A3**  
CAPES 2021-2024



DOI - Crossref

Latindex

Indexado no  
Google Acadêmico

## ***IMPACTOS DA POLUIÇÃO DE PARTICULADOS NAS ATIVIDADES PRÁTICAS EM LABORATÓRIO DE SOLDAGEM***

Rogério Pinto Ferreira<sup>1, 2</sup>, Rafael Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Romildo Morant de Holanda<sup>3</sup> e Ana Rita F. Drummond<sup>1</sup>



<https://doi.org/10.36557/2674-9432.2026v5n1p2807-2825>

Artigo recebido em 17 de Janeiro e publicado em 17 de Março de 2026

### **ARTIGO ORIGINAL**

#### **RESUMO**

A poluição do ar constitui uma das principais preocupações ambientais e de saúde pública na atualidade, especialmente em ambientes industriais e urbanos. A exposição prolongada a esses fumos metálicos pode provocar agravos significativos à saúde humana, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas. Nos laboratórios didáticos os riscos químicos podem ser equivalentes aos de ambientes industriais, exigindo protocolos rígidos de controle e prevenção. Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de concentração de partículas em suspensão (fumos metálicos) gerados durante as atividades práticas de soldagem e corte realizadas em laboratório de ensino tecnológico, à luz dos parâmetros definidos pelas normas de saúde ocupacional e ambiental. A metodologia adotada consistiu na técnica de contagem de partículas em suspensão por meio de equipamentos portáteis calibrados, permitindo identificar não apenas as médias, mas também os picos de concentração, incluindo partículas ultrafinas de 0,3  $\mu\text{m}$ , consideradas mais nocivas. As medições foram realizadas em diferentes pontos do laboratório, em vários dias e turnos, de modo a captar variações temporais e espaciais relevantes. Os resultados mostraram que, embora algumas médias por ponto estejam dentro dos limites legais, os picos de concentração, especialmente no turno da tarde e nas áreas próximas às bancadas de soldagem, ultrapassaram significativamente os valores de segurança recomendados, configurando riscos potenciais à saúde de alunos e professores. Com isso, conclui-se que a ausência de sistemas de exaustão adequados, a sobrecarga de uso do espaço e a fragilidade das medidas preventivas causam danos aos alunos e professores do laboratório, reforçando a importância do uso correto de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e adoção de práticas pedagógicas mais seguras. Além disso, o estudo reforça a necessidade de políticas públicas integradas entre educação profissional e saúde ocupacional.



**Palavras-chave:** Poluição do ar, Fumos metálicos, Laboratório de soldagem, Saúde ocupacional.

## **IMPACTS OF PARTICULATE POLLUTION ON PRACTICAL ACTIVITIES IN A WELDING LABORATORY.**

### **ABSTRACT**

Air pollution is one of the main environmental and public health concerns today, especially in industrial and urban environments. Prolonged exposure to these metallic fumes can cause significant harm to human health, including respiratory, cardiovascular, and neurological diseases. In teaching laboratories, the chemical risks can be equivalent to those of industrial environments, requiring strict control and prevention protocols. Therefore, this study aimed to evaluate the concentration levels of suspended particles (metallic fumes) generated during practical welding and cutting activities carried out in a technical teaching laboratory, in light of the parameters defined by occupational and environmental health standards. The methodology adopted consisted of the suspended particle counting technique using calibrated portable equipment, allowing the identification not only of averages but also of peak concentrations, including ultrafine particles of 0.3  $\mu\text{m}$ , considered more harmful. Measurements were taken at different points in the laboratory, on various days and shifts, in order to capture relevant temporal and spatial variations. The results showed that, although some averages per point are within legal limits, peak concentrations, especially in the afternoon shift and in areas near the welding benches, significantly exceeded recommended safety values, posing potential health risks to students and teachers. Therefore, it is concluded that the absence of adequate exhaust systems, the overuse of space, and the weakness of preventive measures cause harm to students and laboratory staff, reinforcing the importance of the correct use of Personal Protective Equipment (PPE) and the adoption of safer teaching practices. Furthermore, the study reinforces the need for integrated public policies between vocational education and occupational health.

**Keywords:** Air pollution, Metallic fumes, Welding laboratory, Occupational health.

**Instituição afiliada –** 1 = Instituto de Tecnologia de Pernambuco;  
2 = Instituto Federal de Pernambuco – Recife;  
3 = Universidade Federal Rural de Pernambuco.

**Autor correspondente:** Rogério Pinto Ferreira [rogeriopinto@recife.ifpe.edu.br](mailto:rogeriopinto@recife.ifpe.edu.br)

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).





## **1 INTRODUÇÃO**

A poluição do ar constitui uma das principais preocupações ambientais e de saúde pública na atualidade, especialmente em ambientes industriais e urbanos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022), aproximadamente 99% da população mundial respira ar com níveis de poluentes acima dos limites recomendados, sendo os trabalhadores industriais uma das categorias mais vulneráveis a essa exposição. Entre os processos que mais geram contaminantes atmosféricos em espaços fechados está a soldagem, cuja operação envolve a fusão de metais e a consequente liberação de fumos metálicos, partículas finas resultantes da volatilização dos metais e de seus compostos (Martins; Oliveira, 2023).

A exposição prolongada a esses fumos metálicos pode provocar agravos significativos à saúde humana, incluindo doenças respiratórias, cardiovasculares e neurológicas, além de potenciais efeitos carcinogênicos (Ferreira; Andrade, 2022). Esses riscos estão diretamente associados à intensidade e ao tempo de exposição, às características do processo de soldagem e às condições de ventilação do ambiente (Santos; Macedo, 2021).

Esse cenário torna-se ainda mais preocupante quando se trata de laboratórios didáticos de instituições de ensino técnico, onde práticas pedagógicas incluem o uso frequente de equipamentos de soldagem. Em tais ambientes, alunos e professores estão expostos a níveis variáveis de poluentes sem, muitas vezes, contar com sistemas de ventilação e exaustão adequados. Como apontam Silva e Rodrigues (2020), a carência de infraestrutura para controle ambiental em oficinas escolares representa um fator agravante para a saúde ocupacional.

De acordo com Lima e Teixeira (2024), a ausência de sistemas de exaustão local e de avaliações sistemáticas da qualidade do ar em ambientes educacionais contribui para o acúmulo de partículas metálicas em suspensão, comprometendo a segurança e o conforto térmico. Assim, é necessário compreender como essas partículas se comportam em ambientes de ensino técnico, especialmente durante as aulas práticas de soldagem.

Nogueira e Vasconcelos (2021) ressaltam que os riscos químicos em laboratórios didáticos podem ser equivalentes aos de ambientes industriais, exigindo protocolos rígidos de controle e prevenção. Diante disso, o presente estudo procura produzir



evidências técnicas sobre a qualidade do ar em espaços educacionais com características industriais, contribuindo para o desenvolvimento de políticas de melhoria das condições de trabalho e ensino nas instituições públicas.

Sendo assim, o objetivo desse estudo é avaliar os níveis de concentração de partículas em suspensão (fumos metálicos), gerados durante as atividades práticas de soldagem e corte realizadas em laboratório de ensino tecnológico, à luz dos parâmetros definidos pelas normas de saúde ocupacional e ambiental.

Logo, a relevância acadêmica e social desta pesquisa reside em promover reflexões sobre saúde ocupacional, segurança do trabalho e sustentabilidade, trazendo dados inéditos sobre a presença de fumos metálicos em laboratórios de soldagem de ensino tecnológico, buscando reforçando a importância de espaços profissionalizantes humanizados, saudáveis e alinhados às normativas técnicas vigentes.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de soldagem no Recife, onde são ministradas aulas práticas do curso tecnológico em Mecânica. A escolha do local se deu pela constatação empírica, ao longo das atividades formativas, de odores e névoas perceptíveis durante as operações de solda e corte, o que despertou inquietações quanto à qualidade do ar e às possíveis implicações para a saúde de discentes e docentes. Conforme orientam Silva e Corrêa (2022), os ambientes profissionalizantes e escolares devem ser alvo de monitoramento contínuo quando expõem seus frequentadores a poluentes, especialmente em cursos tecnológicos e técnicos com atividades industriais.

O estudo foi realizado durante aulas práticas das disciplinas de soldagem e corte de metais, com tempo de medição de um minuto por amostra, utilizando equipamentos portáteis certificados para contagem de partículas em suspensão por m<sup>3</sup>. As coletas foram realizadas em diferentes pontos e turnos do laboratório, possibilitando observar variações temporais e espaciais na concentração dos fumos metálicos.

O laboratório em questão possui estrutura física com bancadas, maçaricos, máquinas de soldagem e sistema de exaustão (limitado). Cada turma foi composta, em média, por 15 alunos, número compatível com a capacidade física do laboratório e com o planejamento pedagógico das aulas práticas. Além dos estudantes, permaneciam no ambiente, dois servidores, sendo o professor responsável pela condução das atividades



e um técnico de laboratório encarregado do suporte operacional.

A definição dos pontos de medição considerou os locais de maior incidência de partículas e permanência dos alunos durante as atividades. O critério seguiu a recomendação da ABNT NBR 16441:2016, que trata do posicionamento dos instrumentos de coleta para avaliação da qualidade do ar em ambientes industriais. Como reforça Saliba (2023), a disposição dos pontos deve considerar a dinâmica do fluxo de ar, a altura média de respiração humana e a fonte geradora de poluentes.

A coleta de dados seguiu o método de contagem eletrônica de partículas por meio de um contador de partículas portátil (*Optical Particle Counter – OPC*), certificado e calibrado conforme as diretrizes da NBR ISO/IEC 17025:2017. O equipamento foi posicionado em tripé a 1,20 m de altura e configurado para registrar partículas nas faixas de 0,3  $\mu\text{m}$ , 0,5  $\mu\text{m}$  e 1,0  $\mu\text{m}$ , intervalos críticos para avaliação de material particulado inalável ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

Cada amostra foi medida durante 1 (um) minuto, tempo definido com base nas recomendações da NBR 16441:2016, que estabelece parâmetros mínimos de representatividade temporal para coletas de ar em ambientes industriais e educacionais. Esse intervalo permite capturar variações instantâneas geradas pelas atividades de soldagem e reduzir a interferência de picos momentâneos.

O foco da análise concentrou-se exclusivamente na quantificação de partículas sólidas em suspensão, alinhando-se ao escopo da ISO 14644-1:2019 e da ISO 21501-4:2021, que classificam ambientes quanto à limpeza do ar e estabelecem requisitos técnicos para sensores ópticos de contagem de partículas.

As medições ocorreram ao longo de diferentes dias e horários, com o objetivo de captar variações associadas aos processos de soldagem. Após cada coleta, os dados foram transferidos para o software específico do instrumento, sendo posteriormente organizados em planilhas do Microsoft Excel. Essa sistematização permitiu a geração de gráficos comparativos e análise estatística simples, conforme sugerido por Borges *et al.* (2020) em estudos de avaliação ambiental em espaços industriais e educacionais.

A identificação dos agentes foi efetuada por meio de visitas *in loco*, observação direta dos processos e análise de resíduos visuais e olfativos no ambiente. Em complemento, realizou-se uma revisão bibliográfica sistemática nas bases Google Acadêmico, Scopus e Scielo, com foco em artigos publicados entre 2019 e 2025, que discutem os principais poluentes emitidos em processos de soldagem. Conforme

argumentam Ferreira e Marra (2021), a triangulação entre observação, medição e embasamento teórico é essencial para validar os achados e elaborar diagnósticos confiáveis em ambientes ocupacionais.

O escopo da pesquisa observou exclusivamente à análise de partículas ultrafinas (fumos metálicos), utilizando contador óptico de partículas (OPC), equipamento adequado para o monitoramento dos aerossóis metálicos produzidos durante as atividades práticas de soldagem. Importante destacar que o OPC registra contagem numérica de partículas por faixa de tamanho, e não concentração mássica, característica inerente à tecnologia óptica e compatível com os requisitos de ensaios exploratórios de exposição a aerossóis finos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos valores médios por ponto de medição permite compreender a distribuição espacial dos níveis de partículas ultrafinas dentro do ambiente do laboratório de soldagem. A Tabela 1 apresenta os valores médios obtidos (em número de partículas por metro cúbico de ar), referentes às coletas realizadas durante aulas práticas do curso Tecnológico em Mecânica, com os alunos em plena atividade e os equipamentos de soldagem e corte térmico em funcionamento.

**Tabela 1** – Valores médios de particulados por ponto de medição

<b>Ponto</b>	<b>Valor Médio (partículas/m<sup>3</sup>)</b>
<b>P1</b>	345,200
<b>P2</b>	312,800
<b>P3</b>	298,600
<b>P4</b>	365,100
<b>P5</b>	289,400

Fonte: Autores (2025)

A leitura dos dados evidencia que o Ponto 4 (P4) apresentou a maior média de concentração (365.100 partículas/m<sup>3</sup>), possivelmente em razão da proximidade com as bancadas de soldagem mais utilizadas e da ventilação deficiente nessa área. Em



contraste, o Ponto 5 (P5) registrou o menor valor (289.400 partículas/m<sup>3</sup>), o que pode estar relacionado à sua posição próxima às janelas laterais e à zona de exaustão natural, favorecendo a dispersão dos poluentes. Esses resultados demonstram que a distribuição de partículas no ambiente é heterogênea, o que reforça a importância de um planejamento adequado do layout e da ventilação.

Conforme discutido por Aghaei *et al.* (2022), a concentração de fumos metálicos em oficinas escolares tende a ser mais elevada em áreas centrais ou com baixa renovação de ar, aumentando significativamente o risco de exposição, especialmente em turmas com alta densidade de discentes. Para Santos e Almeida (2021), o monitoramento da exposição a partículas em ambientes de ensino tecnológico e/ou técnico deve considerar o tempo de permanência, a frequência de atividades e a falta de uso correto de EPIs, fatores que ampliam a vulnerabilidade dos estudantes. O valor observado no P4 confirma a presença de partículas ultrafinas em níveis preocupantes, cuja inalação contínua pode causar irritações respiratórias e efeitos cumulativos de longo prazo (OMS, 2022).

Com relação à análise dos valores médios por dia e horário ofereceu uma visão mais detalhada sobre as variações na concentração de partículas em suspensão ao longo da rotina semanal do laboratório de soldagem. A Tabela 2 apresenta os valores médios obtidos por contagem de partículas (número de partículas/m<sup>3</sup>) para a fração de 0,3 µm, registrados por dia da semana e turno de aula no laboratório de soldagem.

**Tabela 2** – Valores médios de particulados por dia e horário

<b>Dia / Turno</b>	<b>Manhã (partículas/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tarde (partículas/m<sup>3</sup>)</b>
Segunda-feira	302,400	318,700
Terça-feira	295,200	310,500
Quarta-feira	289,600	321,300
Quinta-feira	276,800	336,200
Sexta-feira	284,100	342,500

Fonte: Autores (2025)

Os resultados revelam que os valores médios de partículas são consistentemente mais elevados no turno da tarde em todos os dias da semana. A maior média foi registrada na sexta- feira à tarde (342.500 partículas/m<sup>3</sup>), enquanto o menor valor foi verificado na quinta-feira pela manhã (276.800 partículas/m<sup>3</sup>). Essa diferença entre os turnos pode estar associada a fatores como maior número de alunos em aulas práticas no período vespertino, tempo acumulado de uso dos equipamentos sem intervalos



adequados para ventilação, e a influência da temperatura externa, que tende a ser mais elevada à tarde, prejudicando a dispersão dos poluentes.

Essas observações estão em consonância com o estudo de Kuye *et al.* (2023), que demonstram que ambientes industriais, profissionalizantes e escolares apresentam variações significativas na concentração de poluentes ao longo do dia, influenciadas não apenas pelo número de operadores, mas também pela dinâmica do uso dos equipamentos e das correntes de ar no interior do espaço.

A elevação dos níveis ao longo da semana, culminando em valores mais altos na sexta-feira, também pode indicar um acúmulo progressivo de resíduos particulados no ambiente, especialmente se não houver um plano eficaz de exaustão e limpeza. Conforme analisado por Lima e Souza (2023), a manutenção insuficiente da ventilação e o uso contínuo dos mesmos equipamentos em ambientes semiabertos potencializam o acúmulo de partículas metálicas finas, elevando o risco de contaminação crônica por inalação. Outro fator a ser considerado é o próprio comportamento dos discentes, que, ao final da semana, tendem a relaxar o uso correto dos EPIs. Logo, esses dados reforçam a importância de revisar o planejamento das aulas práticas, distribuindo melhor o uso intensivo dos equipamentos ao longo da semana e otimizando os intervalos entre os grupos; como também cabe às Instituições de ensino serem mais rigorosas quanto as instalações e uso dos EPIs.

Sobre a compreensão das variações nos picos de concentração de partículas entre os turnos de aula foi fundamental para avaliar como a organização temporal das atividades influencia a qualidade do ar no laboratório. A Tabela 3 apresenta os valores médios dos picos de partículas (número de partículas/m<sup>3</sup>) para o tamanho de 0,3 µm registrados em cada turno de aula no laboratório de soldagem.

**Tabela 3** – Média dos picos de particulado por turno

<b>Turno</b>	<b>Pico Médio (partículas/m<sup>3</sup>)</b>
Manhã	635,700
Tarde	668,300

Fonte: Autores (2025)

Os dados indicam que os níveis de pico foram levemente superiores no turno da tarde, com uma média de 668.300 partículas/m<sup>3</sup>, frente a 635.700 partículas/m<sup>3</sup>



registrados pela manhã. Embora a diferença não seja extrema, ela pode ser considerada significativa dentro do contexto da exposição repetida e contínua ao longo do tempo, como argumentam Nogueira e Vasconcelos (2021), que destacam que até mesmo variações modestas em ambientes confinados podem alterar o risco de sobrecarga respiratória em operadores.

Essa elevação nos níveis da tarde pode estar associada à maior intensidade das atividades práticas nesse período, à menor ventilação natural devido à temperatura mais elevada e, possivelmente, à fadiga no uso correto dos EPIs pelos discentes. De acordo com a Turner e Blake (2020), os limites de exposição recomendados para ambientes escolares ou de formação tecnológica e/ou técnica devem considerar os riscos para jovens em formação, cujos organismos podem ser mais vulneráveis aos efeitos da poluição industrial. Essa mesma diretriz aponta que valores de pico acima de 500 mil partículas/m<sup>3</sup>, ainda que temporários, devem ser motivo de alerta.

Dessa forma, é importante estabelecer protocolos diferenciados de ventilação e pausas nos horários da tarde, revisar a carga horária prática nesse turno e incluir a medição da qualidade do ar como uma rotina pedagógica integrada ao currículo dos cursos tecnológicos e/ou técnicos.

Outro ponto importante foi a avaliação dos valores médios de contagem de partículas por dia e horário de aula representa uma etapa essencial para identificar padrões de poluição que, muitas vezes, passam despercebidos na rotina escolar. A Tabela 4 apresenta os valores médios de número de partículas por metro cúbico (0,3 µm) registrados ao longo dos diferentes dias da semana e nos respectivos horários de aula no laboratório de soldagem.

**Tabela 4** – Valores médios por dia e horário

<b>Dia</b>	<b>Horário</b>	<b>Média de Partículas (partículas/m<sup>3</sup>)</b>
Segunda	8h – 10h	582,400
Terça	10h – 12h	645,200
Quarta	13h – 15h	671,500
Quinta	15h – 17h	698,700
Sexta	8h – 10h	610,300

Fonte: Autores (2025).

A tabela mostra que os níveis de particulados aumentam gradualmente ao longo da semana, atingindo os maiores valores nas tardes de quarta e quinta-feira. Esse dado



é coerente com a lógica de intensificação das aulas práticas nos dias intermediários do calendário semanal, quando os discentes já estão mais familiarizados com os procedimentos de soldagem e, conseqüentemente, os processos de corte e fusão de metais são realizados com maior frequência e duração.

Segundo Nunes, Rocha e Lopes (2020), o aumento da exposição a poluentes em ambientes profissionalizantes tende a acompanhar o ritmo das atividades práticas, especialmente quando não há intervalo suficiente entre as turmas ou ventilação adequada para dissipar os contaminantes acumulados. A alta concentração registrada nas tardes também pode estar relacionada a fatores como menor eficiência da ventilação cruzada, maior temperatura interna e uso simultâneo de vários equipamentos.

Outro aspecto importante é o tipo de consumível metálico utilizado em cada aula. Como discutido por Fernandes e Costa (2024), a soldagem com eletrodos revestidos libera maior quantidade de óxidos metálicos no ar, elevando significativamente o número de partículas finas, especialmente no tamanho de  $0,3 \mu\text{m}$ , que é considerado o mais crítico por penetrar mais profundamente nas vias respiratórias. É necessário ainda considerar a importância de integrar os dados de qualidade do ar à rotina pedagógica e à gestão escolar.

Portanto, reforça-se a urgência de políticas de biossegurança e vigilância ambiental nos ambientes profissionalizantes e/ou escolares, que muitas vezes são invisibilizados nas discussões sobre saúde ocupacional.

Com relação à análise dos picos de contagem de partículas por ponto, foi fundamental para compreender os momentos críticos de exposição durante as atividades práticas de soldagem. A Tabela 5 apresenta os picos máximos de número de partículas ( $0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$ ) captados em cada ponto amostral do laboratório de soldagem.

**Tabela 5 – Pico de particulado por ponto**

<b>Ponto de Medição</b>	<b>Pico Máximo (partículas/<math>\text{m}^3</math>)</b>
Ponto 1	879,600
Ponto 2	921,300
Ponto 3	890,700
Ponto 4	935,200

Fonte: Autores (2025)



Os dados revelam que os maiores picos foram registrados nos pontos 2 e 4, localizados nas extremidades opostas do laboratório, próximas aos exaustores de teto e à área onde se concentra o maior número de bancadas de soldagem. Isso indica que, embora a ventilação natural do espaço exista, ela não tem sido suficiente para dispersar adequadamente os poluentes nos momentos de atividade mais intensa.

De acordo com Barreto e Monteiro (2024), os picos de poluentes em ambientes industriais e profissionalizantes, especialmente durante processos térmicos como a soldagem, são altamente impactados pelo microclima do espaço, posicionamento dos equipamentos e disposição física dos operadores. Ambientes com teto baixo, má circulação de ar e uso simultâneo de vários eletrodos têm maior probabilidade de ultrapassar os limites aceitáveis de segurança mesmo em curtos períodos de tempo.

Além disso, picos elevados em diferentes áreas do laboratório evidenciam um desafio: a poluição por fumos metálicos não se restringe ao local imediato da operação, mas se espalha pelo ambiente, afetando até quem não está diretamente operando o maçarico. Essa característica da dispersão dos aerossóis metálicos é reforçada por Ramos *et al.* (2020), que alertam para a capacidade de partículas ultrafinas se manterem em suspensão por longos períodos e se deslocarem por correntes de ar imprevisíveis.

Outro aspecto crítico é que esses picos, embora esporádicos, podem ultrapassar os limites de tolerância definidos pelas normas técnicas, como a ACGIH ou a NR-15, especialmente quando ocorrem em sequência ou em turnos seguidos. Gomes e Santos (2021) argumentam que a saúde ocupacional deve considerar tanto a exposição média quanto os episódios de alta intensidade, pois os efeitos tóxicos dos fumos metálicos, em muitos casos, são dose-dependentes e cumulativos.

Logo, o resultado apresentado confirma que, embora os valores médios sejam menos críticos, os picos de contagem de partículas atingem níveis alarmantes, sobretudo em pontos com maior densidade de uso. Isso exige uma abordagem mais atenta da vigilância ambiental e ocupacional no meio profissionalizantes, especialmente aquelas que formam jovens expostos precocemente a riscos industriais.

Com relação a comparação dos picos médios de contagem de partículas entre os turnos de funcionamento do laboratório permite avaliar se há variações significativas nos níveis máximos de poluentes conforme a carga horária, número de discentes, ventilação natural e intensidade das atividades realizadas. Enquanto os valores médios indicam uma exposição geral ao longo do tempo, os picos médios por turno revelam os momentos de



maior concentração de partículas em suspensão, sinalizando situações de risco agudo que podem comprometer a saúde dos usuários do ambiente. A Tabela 6 apresenta a média dos maiores picos de particulado atmosférico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) registrados durante as atividades práticas no laboratório, considerando os turnos da manhã e da tarde.

**Tabela 6 – Pico médio por turno**  
**Turno Pico Médio (partículas/ $\text{m}^3$ )**

Manhã	917,000
Tarde	884,900

Fonte: Autores (2025)

A análise dos dados indica que o turno da manhã apresentou picos médios ligeiramente superiores aos da tarde, o que pode estar relacionado à maior concentração de atividades logo no início do expediente, quando há uso simultâneo de vários equipamentos e maior densidade de discentes. Como destacam Camargo e Freitas (2022), a concentração de partículas em ambientes ocupacionais está diretamente ligada à quantidade de fontes emissoras ativas e à taxa de renovação do ar durante os ciclos operacionais.

Outro fator possível é o tempo de estabilização dos sistemas de ventilação. Em muitas instituições, a ventilação mecânica ou natural só atinge máxima eficiência após alguns minutos de funcionamento, de forma que as primeiras medições do dia já podem registrar valores elevados. Essa hipótese é sustentada por Almeida e Nunes (2021), que identificaram comportamento semelhante em laboratórios tecnológicos e/ou técnicos.

Apesar da diferença não ser ampla, o fato de ambos os turnos apresentarem picos próximos ou acima de 900 mil partículas  $0,3 \mu\text{m}/\text{m}^3$  evidencia um risco constante de exposição aguda. Kowalski, Araújo e Pereira (2020) alertam que mesmo exposições intermitentes a altas concentrações podem provocar respostas inflamatórias no trato respiratório, especialmente em indivíduos jovens.

Assim, é fundamental que a gestão acadêmica e tecnológica adote medidas como escalonamento das atividades mais poluentes, pausas programadas para dispersão do ar, manutenção preventiva e corretiva dos sistemas de ventilação e protocolos de limpeza mais frequentes. Além disso, o uso correto e contínuo de EPIs deve ser reforçado



de forma sistemática no currículo e nas práticas do curso.

Logo, os resultados apresentados nas tabelas anteriores revelam uma distribuição desigual das concentrações de material particulado no laboratório, com destaque para o ponto P4, que registrou a maior concentração média (365.100 partículas/m<sup>3</sup>), seguido de P2. Essa variabilidade espacial demonstra que a disposição das bancadas, o fluxo de ar, a movimentação dos discentes e a ausência de exaustão eficiente influenciam diretamente os níveis de poluentes no ambiente, indicando que o layout atual contribui para o acúmulo de partículas ultrafinas. Achado semelhante foi descrito por Aghaei *et al.* (2022), que identificam as áreas centrais de laboratórios como as mais críticas devido à insuficiência de ventilação cruzada.

Outro ponto relevante refere-se ao comportamento temporal das partículas. Observou-se que os níveis de concentração aumentam significativamente no turno da tarde, sugerindo acúmulo progressivo ao longo das aulas práticas e ventilação inadequada. É essencial destacar que as medições foram realizadas com intervalos de 1 minuto, o que permitiu captar picos e oscilações rápidas das concentrações, fornecendo um retrato detalhado do risco potencial agudo. No entanto, essa técnica não permitiu o cálculo da Média Ponderada no Tempo (TWA) exigida pela NR-15 para caracterização de insalubridade, o que delimita o escopo do estudo. Assim, esta pesquisa não definiu a insalubridade legal, mas identificou pontos críticos, comportamentos de dispersão e diretrizes de intervenção ambiental.

Medidas administrativas também desempenham papel complementar importante. Abrahão, Silveira e Lopes (2023) demonstram que o escalonamento das atividades, a redução do número de operações simultâneas e pausas estratégicas de ventilação reduzem significativamente os picos de exposição. Tais orientações se aplicam diretamente ao cenário observado, especialmente no turno da tarde, onde o acúmulo de partículas foi mais evidente.

No campo da proteção individual, o uso de máscaras PFF2 e PFF3, embora imprescindível, não substitui o controle na fonte. Branco, Ferreira e Almeida (2024) alertam que os EPIs devem ser compreendidos como última barreira na hierarquia de proteção e que sua eficácia depende de ajuste adequado, vedação correta e adesão comportamental, desafios especialmente presentes em ambientes educacionais.



Por isso, que a dimensão educacional profissionalizante emerge como elemento transversal na gestão da qualidade do ar. A criação de uma cultura Institucional de segurança, apoiada por capacitações contínuas, sensibilização e participação ativa dos estudantes, é fundamental. Souza e Martins (2023) demonstram que projetos envolvendo os alunos no monitoramento da qualidade do ar aumentam significativamente a percepção de risco e a adesão às práticas preventivas. Nesse sentido, o conceito de “laboratório vivo”, descrito por Moura e Lima (2022), é uma estratégia pedagógica valiosa para unir ensino, prevenção e sustentabilidade.

Apesar dos avanços possíveis, permanecem desafios institucionais. A falta de recursos para aquisição de equipamentos, ausência de manutenção contínua e carência de formação tecnológica e/ou técnica em gestão ambiental dificultam a consolidação de políticas efetivas, conforme observam Almeida e Ribeiro (2022). Contudo, intervenções de baixo custo, como reorganização do *layout*, ventilação cruzada e limitação de alunos por bancada, já seriam capazes de reduzir significativamente as concentrações de poluentes, (Brito; Lemos, 2024).

Diante disso, torna-se evidente que a mitigação eficaz da poluição atmosférica em laboratórios tecnológicos requer uma abordagem integrada que articule engenharia de controle (com prioridade para LEV), gestão ambiental, medidas administrativas, proteção individual e educação para segurança. Esse conjunto de ações não apenas promove ambientes mais seguros, mas também amplia o potencial formativo dos laboratórios, transformando-os em espaços de ensino comprometidos com a saúde, a sustentabilidade e a cidadania ambiental.

É importante destacar que os resultados apresentados não se limitam à exposição quantitativa dos valores medidos, mas procurou interpretar os impactos potenciais dessa exposição sobre a saúde humana e o ambiente escolar.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os resultados revelaram que, embora alguns valores médios por ponto não tenham ultrapassado os limites legais estabelecidos por normas como a NR-15 e a NBR 16401, os picos de concentração, especialmente nos horários de maior atividade, indicam riscos potenciais à saúde dos estudantes e professores. A variação dos níveis por



turno, por dia da semana e por ponto de medição demonstrou que fatores como *layout* do laboratório, ventilação, posicionamento das bancadas e ausência de exaustores eficientes influenciam diretamente na concentração dos poluentes. Os dados reforçam que a exposição intermitente, ainda que abaixo dos limites formais, pode gerar efeitos cumulativos e silenciosos, sobretudo quando não há controle contínuo da qualidade do ar.

Outro ponto crítico identificado foi à insuficiência de medidas mitigadoras eficazes. Embora o uso de EPIs seja obrigatório, a simples adoção desses instrumentos não substitui a necessidade de estratégias estruturais e ambientais, como sistemas de exaustão local, revisão do layout e pausas pedagógicas planejadas. A prevenção real exige uma cultura institucional voltada à saúde ambiental, com protocolos claros de monitoramento e capacitação contínua dos envolvidos.

Como encaminhamentos práticos, sugere-se a revisão das condições estruturais do laboratório, com ênfase na instalação de sistemas de ventilação forçada, reorganização das bancadas, adoção de sinalização preventiva e implementação de rotinas de medição periódica dos poluentes atmosféricos. Recomenda-se ainda que os cursos tecnológicos e/ou técnicos incluam conteúdos formativos sobre riscos ambientais e estratégias de autoproteção, ampliando a consciência crítica dos futuros profissionais. Pesquisas futuras podem aprofundar a análise da composição química dos particulados emitidos durante as práticas de soldagem, identificando especificamente metais como ferro, manganês, cromo e níquel.

Diante de todo esse explanado e resultados, esta pesquisa não se encerra em si. Abre caminhos para investigações mais amplas, que envolvam outros laboratórios de instituições públicas e privadas, avaliem impactos em longo prazo à saúde dos discentes e docentes e explorem a relação entre exposição ambiental e desempenho acadêmico. Em um País que avança lentamente nas agendas de segurança do trabalho e saúde ambiental escolar, contribuir com dados e análises nesse campo é, acima de tudo, um ato de responsabilidade social e de defesa da vida.

## **5 REFERÊNCIAS**

ABRAHÃO, Marcos V.; SILVEIRA, Jonas R.; LOPES, Daiane F. Exposição ocupacional a partículas finas em oficinas e laboratórios escolares: uma abordagem técnica e normativa. **Revista Brasileira de Engenharia de Segurança do Trabalho**, São Paulo, v.



18, n. 1, p. 29–42, 2023.

AGHAEI, H. et al. Assessment of airborne particulate matter in welding environments: exposure characterization and control strategies. **Journal of Occupational Safety and Hygiene**, v. 14, n. 2, p. 85–96, 2022.

ALMEIDA, C. R.; RIBEIRO, L. P. Adaptação das normas industriais à realidade educacional: desafios da saúde ocupacional em escolas técnicas brasileiras. **Revista Brasileira de Educação Profissional e Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 1–14, 2022.

ALMEIDA, Carlos Roberto; NUNES, Tânia Cristina. Avaliação da ventilação natural em ambientes escolares urbanos e seus impactos na qualidade do ar. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 75–89, 2021.

BARRETO, A. C.; MONTEIRO, R. S. Educação profissional e sustentabilidade: práticas e desafios nos Institutos Federais. **Revista Educação, Ciência e Cultura**, v. 29, n. 1, p. 98–115, 2024.

BRANCO, A. M.; FERREIRA, L. C.; ALMEIDA, J. R. Avaliação da qualidade do ar interno em instituições de ensino: desafios e estratégias sustentáveis. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 11, n. 3, p. 45–62, 2024.

BRITOT, S.; LEMOS, F. P. Educação ambiental aplicada à formação técnica: práticas de sustentabilidade em laboratórios escolares. **Cadernos de Educação e Meio Ambiente**, v. 12, n. 4, p. 120–138, 2024.

CAMARGO, Fernanda dos Santos; FREITAS, Luís Henrique. Emissão de partículas ultrafinas em processos de soldagem MIG/MAG: avaliação de riscos à saúde ocupacional. **Cadernos de Engenharia de Segurança do Trabalho**, São Paulo, v. 11, n. 42, p. 30–47, 2022.

FERNANDES, Rafael Henrique; COSTA, Daniela Valéria. Avaliação da qualidade do ar em laboratórios técnicos: uma urgência negligenciada. **Revista Ensino, Tecnologia e Sociedade**, v. 9, n. 2, p. 66–81, 2024.

FERREIRA, Cláudio Augusto; ANDRADE, Bruna Teixeira. Efeitos tóxicos da exposição aos fumos metálicos: uma revisão atualizada. **Revista de Saúde Ocupacional e Meio Ambiente**, v. 15, n. 2, p. 45–61, 2022.

FERREIRA, Patrícia Lopes; MARRA, Daniel Campos. Análise de risco ambiental em oficinas escolares com práticas de soldagem. **Revista Brasileira de Ensino Técnico**, v. 10, n. 2, p. 103–117, 2021.

GOMES, André Vinícius; SANTOS, Patrícia Lima dos. Efeitos da exposição a fumos metálicos em trabalhadores da indústria metalúrgica. **Revista de Saúde e Trabalho**, v. 17, n. 1, p. 15–32, 2021.



KOWALSKI, Marcio J.; ARAÚJO, Fernanda G.; PEREIRA, Heloísa M. Efeitos da exposição intermitente a partículas finas e ultrafinas em ambientes educacionais técnicos. **Revista Ciência & Saúde**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 115–128, 2020.

KUYE, A. et al. A review of the physicochemical characteristics of ultrafine particles (UFPs) from diverse sources. **Science of The Total Environment**, v. 868, p. 161635, 2023.

LIMA, Daniela C.; SOUZA, Tiago V. A influência do layout físico em ambientes de ensino técnico na concentração de poluentes atmosféricos. **Revista Brasileira de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 532–545, 2023.

LIMA, Davi Henrique; TEIXEIRA, Vânia Lopes. Avaliação ambiental em laboratórios de soldagem de instituições federais: uma análise de riscos. **Revista Científica do IFMG**, v. 10, n. 1, p. 55–72, 2024.

MARTINS, Isabela de Souza; OLIVEIRA, Flávio Henrique. Soldagem e poluentes atmosféricos: impactos na saúde respiratória de trabalhadores. **Revista Saúde e Trabalho**, v. 19, n. 1, p. 25–40, 2023.

MOURA, Érica Tavares; LIMA, João Guilherme. Gerenciamento da qualidade do ar em oficinas escolares: riscos invisíveis e ações preventivas. **Revista Saúde e Educação Técnica**, v. 12, n. 1, p. 41–59, 2022.

NOGUEIRA, Tamires Soares; VASCONCELOS, Júlio Cesar. Segurança química em laboratórios escolares: riscos invisíveis e desafios pedagógicos. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Engenharia**, v. 12, n. 3, p. 71–90, 2021.

NUNES, Felipe Augusto; ROCHA, Carolina Medeiros; LOPES, Igor Fernando. Comparação da qualidade do ar em dois laboratórios escolares de soldagem: estudo de caso. **Revista Engenharia e Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 99–115, 2020.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Air pollution and child health: prescribing clean air**. Geneva: WHO, 2022.

SALIBA, Adriana Teixeira. Métodos de monitoramento da poluição do ar em espaços educacionais com risco ocupacional. **Revista Brasileira de Saúde Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 12–28, 2023.

SANTOS, Mayra Gabriela; MACEDO, José Henrique. Monitoramento de fumos metálicos em ambientes ocupacionais: uma abordagem preventiva. **Revista de Higiene Ocupacional**, v. 11, n. 2, p. 63–79, 2021.

SANTOS, R. M.; ALMEIDA, D. R. Monitoramento da qualidade do ar em instituições de ensino técnico: um estudo sobre riscos ocupacionais. **Revista Brasileira de**



**Segurança e Saúde no Trabalho**, v. 10, n. 2, p. 88–107, 2021.

SILVA, Carolina Rocha; CORRÊA, Eduardo Gomes. Avaliação ambiental em laboratórios escolares: um estudo de caso em instituição federal. **Revista Interdisciplinar de Tecnologias no Ensino**, v. 7, n. 2, p. 77–95, 2022.

SILVA, Janaina Gomes; RODRIGUES, Marcos Vinícius. Riscos ocupacionais em laboratórios técnicos de soldagem: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Educação Profissional e Tecnológica**, v. 6, n. 2, p. 101–117, 2020.

SOUSA, Priscila M.; MARTINS, Alexandre R. Exposição ocupacional a particulados em ambientes escolares: estudo em um Instituto Federal. **Cadernos de Saúde e Segurança do Trabalho**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 15–28, 2023.

TURNER, Samuel Blake; BLAKE, Natalie Elizabeth. Welding fumes exposure and occupational thresholds: A review of OSHA and NIOSH standards. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 18, n. 5, p. 200–214, 2020.