

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

Associação entre poluição atmosférica relacionada ao tráfego e dano oxidativo ao DNA em trabalhadores informais urbanos: um estudo piloto de biomonitoramento humano

Thalita Pessoa Campos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Saúde Coletiva, da
Universidade Federal de Uberlândia, para a obtenção
do grau de Bacharel em Saúde Coletiva.

Uberlândia - MG
26 de Maio - 2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

Associação entre poluição atmosférica relacionada ao tráfego e dano oxidativo ao DNA em trabalhadores informais urbanos: um estudo piloto de biomonitoramento humano

Thalita Pessoa Campos

Boscolli Barbosa Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Saúde Coletiva, da
Universidade Federal de Uberlândia, para a obtenção
do grau de Bacharel em Saúde Coletiva.

Uberlândia - MG
26 de Maio - 2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

Associação entre poluição atmosférica relacionada ao tráfego e dano oxidativo ao DNA em
trabalhadores informais urbanos: um estudo piloto de biomonitoramento humano

Thalita Pessoa Campos

Dr. Boscolli Barbosa Pereira
Universidade Federal De Uberlândia

Homologado pela Coordenação do Curso de Saúde coletiva,
em 26/05/2026

Jean Ezequiel Limongi

Uberlândia - MG
26 de Maio - 2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE SAÚDE COLETIVA

Associação entre poluição atmosférica relacionada ao tráfego e dano oxidativo ao DNA em
trabalhadores informais urbanos: um estudo piloto de biomonitoramento humano

Thalita Pessoa Campos

Aprovado pela Banca Examinadora: 26/05/2026.

Nota: 100

Prof. Dr. Boscolli Barbosa Pereira - UFU

Dra. Vanessa Santana Vieira Santos – UFU

Prof. Dr. Jean Ezequiel Limongi – UFU

Uberlândia, 26 de Maio de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe e à minha avó, Renata Pessoa e Eva Bernardes, por todo o amor, apoio e suporte incondicional ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e nas escolhas da minha carreira. Por caminharem ao meu lado, mesmo nos momentos mais desafiadores, e por serem fonte constante de força e inspiração para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

Estendo minha gratidão à toda a minha família e aos meus amigos, que estiveram presentes durante essa jornada, compartilhando comigo as experiências da graduação, entre desafios e aprendizados. Obrigada por todo incentivo, por dividirem comigo os momentos difíceis e, principalmente, por tornarem essa caminhada mais leve e significativa.

Ao meu professor e orientador, Boscolli Barbosa, expresso meu profundo agradecimento pela dedicação, paciência e disponibilidade ao longo deste trabalho. Sua orientação foi fundamental, não apenas pelo conhecimento transmitido, mas também pela serenidade, incentivo e confiança depositada em minha formação.

Por fim, agradeço a todas as pessoas com quem convivi durante esses anos de universidade, que contribuíram, de alguma forma, para que essa trajetória fosse mais leve, rica e alegre. À Universidade Federal de Uberlândia, minha sincera gratidão pela oportunidade de vivenciar uma experiência tão transformadora em minha vida.

RESUMO

A poluição atmosférica urbana, particularmente o material particulado fino (MP_{2.5}), é uma importante preocupação de saúde ambiental associada ao estresse oxidativo e ao dano ao DNA. No entanto, as evidências em trabalhadores informais expostos e socialmente vulneráveis ainda são limitadas, e a aplicabilidade de biomarcadores não invasivos requer investigação adicional. Este estudo avaliou a viabilidade do uso da 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina salivar (8-OHdG) como biomarcador de dano oxidativo ao DNA em trabalhadores urbanos informais expostos à poluição atmosférica relacionada ao tráfego urbano e explorou suas associações com variáveis ambientais, biológicas e socioeconômicas. Foi realizado um estudo transversal incluindo trabalhadores informais e um grupo controle de trabalhadores formais em ambientes internos. As concentrações ambientais de MP_{2.5} e os níveis de ruído foram medidos nos locais de trabalho utilizando instrumentos portáteis calibrados. As concentrações de 8-OHdG na saliva foram quantificadas por ensaio imunoenzimático (ELISA). As análises estatísticas incluíram comparações não paramétricas entre grupos (teste de Mann-Whitney), correlação de Spearman, agrupamento hierárquico e modelagem por regressão linear múltipla. Os trabalhadores expostos apresentaram níveis significativamente mais elevados de 8-OHdG salivar, indicando aumento do dano oxidativo ao DNA. Foram observadas associações positivas entre 8-OHdG e MP_{2.5}, ruído ambiental e índice de massa corporal (IMC), enquanto renda e escolaridade apresentaram correlação inversa. Modelos multivariados identificaram o MP_{2.5} e o IMC como preditores independentes, e a análise de cluster revelou um agrupamento consistente de variáveis ambientais e biológicas relacionadas ao estresse oxidativo. Esses achados demonstram que a exposição ocupacional à poluição do ar relacionada ao tráfego está associada ao aumento do dano oxidativo ao DNA em trabalhadores urbanos informais e sustentam o uso da 8-OHdG salivar como biomarcador não invasivo para biomonitoramento ambiental. Os resultados destacam o papel integrado da exposição ambiental, da suscetibilidade biológica e da vulnerabilidade socioeconômica, com implicações para a vigilância em saúde ambiental e para intervenções direcionadas de Saúde Pública.

Palavras-chave: Estresse oxidativo; Biomonitoramento; 8-OHdG; Trabalhadores informais.

ABSTRACT

Urban air pollution, particularly fine particulate matter (PM_{2.5}), is a major environmental health concern associated with oxidative stress and DNA damage. However, evidence in occupationally exposed and socially vulnerable populations remains limited, and the applicability of non-invasive biomarkers requires further investigation. This study evaluated the feasibility of using salivary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) as a biomarker of oxidative DNA damage in urban informal workers exposed to traffic-related air pollution and explored its associations with environmental, biological, and socioeconomic variables. A cross-sectional study was conducted including informal street vendors and a control group of indoor workers. Ambient PM_{2.5} concentrations and environmental noise levels were measured at workplaces using portable calibrated instruments. Salivary 8-OHdG concentrations were quantified by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Statistical analyses included nonparametric group comparisons (Mann-Whitney test), Spearman correlation, hierarchical clustering, and multiple linear regression modeling. Exposed workers showed significantly higher salivary 8-OHdG levels, indicating increased oxidative DNA damage. Positive associations were observed between 8-OHdG and PM_{2.5}, environmental noise, and body mass index (BMI), whereas income and education were inversely correlated. Multivariate models identified PM_{2.5} and BMI as independent predictors, and cluster analysis revealed a consistent grouping of environmental and biological variables linked to oxidative stress. These findings demonstrate that occupational exposure to traffic-related air pollution is associated with increased oxidative DNA damage in urban informal workers and support the use of salivary 8-OHdG as a non-invasive biomarker for environmental biomonitoring. The results highlight the integrated role of environmental exposure, biological susceptibility, and socioeconomic vulnerability, with implications for environmental health surveillance and targeted public health interventions.

Keywords: Oxidative stress; Biomonitoring; 8-OHdG; Informal workers.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO, SUJEITOS PARTICIPANTES E ÁREA DE INVESTIGAÇÃO	12
2.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL	13
2.3 COLETA, PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DE 8-OHDG SALIVAR.....	14
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	15
3. RESULTADOS	16
4. DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÃO	25
REFERÊNCIAS	25

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades, com altos índices de urbanização e motorização nos países em desenvolvimento, tem contribuído significativamente para o agravamento da poluição atmosférica, configurando-se como um dos principais desafios contemporâneos para a saúde ambiental e ocupacional (YONASHIRO; FERREIRA; GEORGES, 2020; GOUVEIA et al, 2019). Nos grandes centros urbanos brasileiros, as emissões oriundas do tráfego veicular figuram entre as principais responsáveis pela deterioração da qualidade do ar, com destaque para o material particulado (MP), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e o ozônio troposférico (O₃) (CARVALHO, 2011). A Organização Mundial da Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2025) aponta a poluição do ar como a maior ameaça ambiental à saúde humana, estando associada a sete milhões de mortes prematuras anualmente.

Nesse contexto, trabalhadores informais, popularmente conhecidos como “camelôs”, se encontram inseridos em um cenário de vulnerabilidade social (VALENTIM et al., 2021), caracterizado pela ausência de segurança trabalhista, limitado ou inexistente acesso a equipamentos de proteção individual (EPIs), instabilidade de renda, inadequação do ambiente de trabalho e ausência de garantias trabalhistas, como férias e seguros relacionados a problemas de saúde decorrentes da atividade laboral, configurando um importante problema de saúde pública (RODRIGUES; IGNOTTI; HACON, 2019).

A classe de trabalhadores informais tem como local de trabalho os grandes centros urbanos, onde a maior parte da população circula. Ainda que o centro da cidade seja um local propício para vendas de mercadorias, com grande fluxo de pessoas e intenso tráfego veicular, essas localidades frequentemente apresentam elevadas concentrações de poluentes atmosféricos, adicionando um quadro de exposição ambiental ocupacional ao cenário (MAIA; M. NETTO; COSTA, 2019).

De acordo com Gangwar et al. (2020), a exposição crônica a poluentes atmosféricos está amplamente associada a processos inflamatórios sistêmicos e ao aumento do estresse oxidativo, mecanismos-chave envolvidos na indução de danos ao DNA e no desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis. A genotoxicidade, entendida como a capacidade de agentes químicos ou físicos de causarem alterações no material genético, pode resultar em mutações permanentes, instabilidade genômica e potencial carcinogênico (PHILLIPS; ARLT, 2009).

Conforme Gunes et al. (2021), dentre os biomarcadores amplamente utilizados para avaliação do estresse oxidativo e do dano ao DNA, destaca-se a 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG), uma base modificada da guanina gerada pela oxidação do DNA por espécies reativas de oxigênio (*ROS - reactive oxygen species*). Embora tradicionalmente quantificada em amostras de urina, a 8-OHdG também pode ser detectada com alta sensibilidade em saliva, uma matriz biológica não invasiva que apresenta importantes vantagens logísticas e éticas para estudos envolvendo populações expostas. A saliva tem sido validada como alternativa viável para a mensuração de 8-OHdG em pesquisas de biomonitoramento ambiental e ocupacional, refletindo a exposição sistêmica e os níveis de estresse oxidativo em tempo real (KAWAI et al., 2020).

Estudos recentes têm demonstrado níveis aumentados de 8-OHdG salivar em indivíduos expostos a elevadas cargas de poluentes atmosféricos, indicando sua aplicabilidade como bioindicador em cenários de exposição contínua à poluição do ar (TORRES et al., 2020). Além disso, a análise por meio de amostras salivares mostra-se particularmente adequada em populações de difícil acesso ou em situação de vulnerabilidade social, como trabalhadores informais urbanos.

Apesar do avanço na aplicação de biomarcadores moleculares na Vigilância em Saúde Ambiental, ainda são escassos os estudos que investigam os potenciais riscos genotóxicos associados à exposição ocupacional de trabalhadores informais urbanos à poluição atmosférica, especialmente no contexto brasileiro. A ausência de dados sistematizados sobre essa população vulnerável representa uma lacuna relevante na literatura científica. Nesse contexto, levanta-se a hipótese de que trabalhadores informais urbanos cronicamente expostos à poluição atmosférica relacionada ao tráfego veicular apresentem níveis mais elevados de 8-OHdG na saliva, refletindo maior ocorrência de dano oxidativo ao DNA quando comparados a indivíduos com menor exposição ambiental.

Diante disso, o presente estudo piloto teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso da 8-OHdG salivar como biomarcador de dano oxidativo ao DNA em trabalhadores informais urbanos expostos à poluição atmosférica no centro da cidade de Uberlândia (MG). Especificamente, buscou-se comparar os níveis do biomarcador entre trabalhadores expostos e um grupo controle, bem como explorar possíveis associações entre os níveis de 8-OHdG e variáveis ambientais, biológicas e socioeconômicas. Ao fornecer evidências preliminares sobre o uso de biomarcadores salivares em contextos ocupacionais urbanos, o estudo pretende

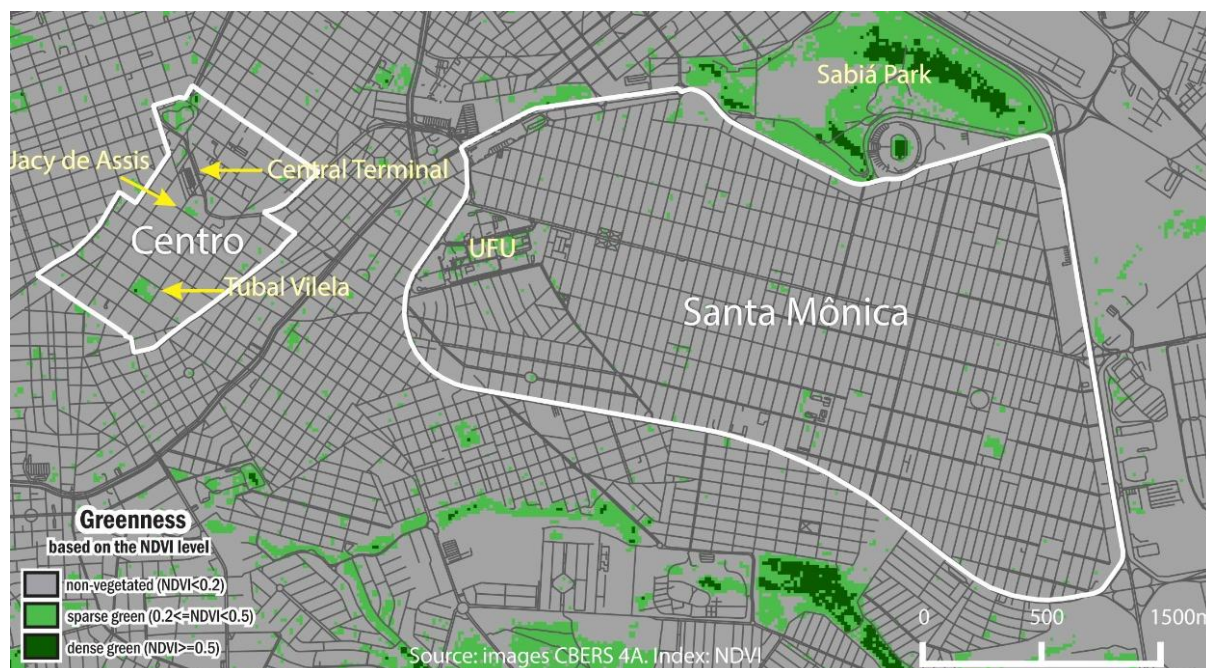
contribuir para ampliar a compreensão dos impactos genotóxicos da exposição à poluição atmosférica em populações socialmente vulneráveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO, SUJEITOS PARTICIPANTES E ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

O estudo foi conduzido no município de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, um importante centro urbano caracterizado por intenso fluxo veicular e elevada atividade comercial na região central da cidade (Figura 1). O delineamento consistiu em um estudo piloto exploratório, desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade do protocolo de biomonitoramento, caracterizar a variabilidade do biomarcador de estresse oxidativo e gerar estimativas preliminares de efeito para futuros estudos epidemiológicos de maior escala.

Figura 1. Área de estudo e caracterização da cobertura vegetal urbana nas regiões investigadas.



Fonte: os autores.

Nota: Localização das áreas investigadas no município de Uberlândia (MG), Brasil, com representação da cobertura vegetal urbana estimada por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado de imagens do satélite CBERS-4A. A classificação do NDVI permite distinguir áreas não vegetadas ($NDVI < 0,2$), vegetação esparsa ($0,2 \leq NDVI < 0,5$) e vegetação densa ($NDVI \geq 0,5$), evidenciando diferenças no contexto ambiental entre os locais de exposição ocupacional e a área de referência.

Para tanto, dois grupos ocupacionais com diferentes perfis de exposição ambiental foram investigados. O grupo exposto foi composto por vinte trabalhadores informais que exercem suas atividades em barracas fixas autorizadas pela prefeitura municipal, localizadas na região central da cidade, nas proximidades do Terminal Central de Transporte Coletivo. Essa região concentra intenso tráfego veicular, frequentes congestionamentos, elevada circulação de ônibus urbanos e ciclos repetidos de aceleração e desaceleração, fatores reconhecidos como importantes fontes de poluição atmosférica relacionada ao tráfego. Em contraste, o grupo controle foi composto por vinte trabalhadores formais cujas atividades laborais ocorrem predominantemente em ambientes internos ou em áreas com menor intensidade de tráfego, principalmente no bairro Santa Mônica. Esse bairro apresenta características urbanísticas mais estruturadas, com ruas mais amplas, menor densidade de tráfego e maior disponibilidade relativa de áreas verdes.

A caracterização espacial das áreas investigadas foi complementada pela análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado de imagens multiespectrais do satélite CBERS-4A, permitindo evidenciar diferenças na cobertura vegetal urbana entre as regiões de exposição e de referência, fator que pode influenciar processos de dispersão e diluição de poluentes atmosféricos.

As informações sociodemográficas e ocupacionais foram obtidas por meio de um questionário estruturado aplicado a todos os participantes. O instrumento incluiu variáveis como idade, sexo, escolaridade, renda mensal, peso e altura, utilizados para o cálculo do índice de massa corporal (IMC), além de informações relacionadas ao tempo de atividade profissional. Também foram coletadas informações sobre fatores de estilo de vida potencialmente associados ao estresse oxidativo, incluindo tabagismo e consumo de bebidas alcoólicas.

O protocolo de pesquisa foi conduzido em conformidade com os princípios éticos estabelecidos na Declaração de Helsinque (1964) e suas revisões posteriores. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Uberlândia (CEP/UFU), sob parecer nº 054176/2022. Todos os participantes foram previamente informados sobre os objetivos da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido antes da participação no estudo.

2.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL

As concentrações de material particulado atmosférico PM_{2.5} foram medidas nos locais de trabalho utilizando um monitor portátil de aerossóis (DustTrak™ DRX Aerosol Monitor, Model 8530, TSI Inc., Shoreview, MN, USA), operado a uma vazão fixa de amostragem de 3,0 L min⁻¹. Antes das medições de campo, o equipamento foi calibrado em relação a um amostrador estacionário de alto volume (Hi-Vol, Energética, Brasil). Uma calibração de zero foi realizada antes de cada sessão de amostragem para minimizar possíveis derivações instrumentais. Os equipamentos foram posicionados a aproximadamente 1,5 m acima do solo, altura correspondente à zona de respiração humana. As medições foram realizadas três vezes por dia em cada local de estudo, com duração de duas horas por sessão. Posteriormente, foram calculadas as concentrações médias diárias de material particulado. Os níveis de ruído ambiental também foram registrados nos locais de trabalho utilizando um decibelímetro portátil calibrado, com os valores expressos em decibéis (dB).

2.3 COLETA, PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS E DETERMINAÇÃO DE 8-OHDG SALIVAR

As amostras de saliva foram coletadas utilizando o dispositivo Salivette® (Sarstedt, Alemanha), amplamente utilizado em estudos biomédicos para coleta não invasiva de fluidos biológicos. Cada participante foi instruído a enxaguar a boca com água e, em seguida, recebeu um tubo estéril contendo um *swab* de algodão, que foi posicionado na cavidade oral entre a língua e a gengiva por aproximadamente 2 a 3 minutos, até completa saturação com saliva. Após a coleta, o *swab* foi recolocado no tubo coletor e mantido refrigerado até o transporte ao laboratório. As amostras foram centrifugadas a 2000 rpm por 15 minutos para separação do fluido salivar do material absorvente. O sobrenadante obtido foi aliquoteado e armazenado a -20 °C até a realização das análises laboratoriais.

A concentração de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG) nas amostras de saliva foi determinada por ensaio imunoenzimático quantitativo (ELISA) utilizando kit comercial específico para 8-OHdG humano (Sinapse Biotecnologia, Brasil), de acordo com o protocolo do fabricante, realizado no Laboratório de Imunologia da Universidade Federal de Uberlândia. Brevemente, as amostras de saliva previamente armazenadas a -20 °C foram descongeladas em gelo, homogeneizadas e centrifugadas a 3000 rpm por 10 min para remoção de detritos celulares e material particulado, de forma que o sobrenadante foi cuidadosamente coletado e utilizado para as análises.

Para cada determinação, 50 μL de amostra ou solução padrão foram adicionados aos poços de uma placa de microtitulação previamente revestida com anticorpos monoclonais específicos para 8-OHdG. Em seguida, foi adicionado o reagente contendo anticorpo secundário conjugado à peroxidase de rábano (horseradish peroxidase, HRP), permitindo a formação do complexo antígeno-anticorpo. A placa foi incubada nas condições recomendadas pelo fabricante para permitir a ligação específica do analito e, em seguida, os poços foram lavados múltiplas vezes (mínimo de 5 vezes por 1min) com tampão de lavagem fornecido no kit, removendo componentes não ligados. Posteriormente, foram adicionados 100 μL do substrato cromogênico tetrametilbenzidina (TMB) a cada poço e a placa foi incubada à temperatura ambiente por aproximadamente 15 min, protegida da luz, permitindo o desenvolvimento da reação enzimática catalisada pela HRP. A reação foi interrompida pela adição de solução de parada ácida, resultando na formação de coloração amarela estável, e a absorbância foi então medida em leitor de microplacas a 450 nm.

Todas as amostras foram analisadas em duplicata e a concentração de 8-OHdG nas amostras foi determinada por interpolação em curva padrão construída a partir das soluções padrão fornecidas pelo kit, e os resultados foram expressos em pg/mL de saliva. Amostras com coeficiente de variação entre duplicatas (intraensaio) superior a 10% foram reanalisadas para garantir a confiabilidade dos resultados. A sensibilidade analítica do ensaio (limite de detecção) e o intervalo de quantificação foram definidos conforme as especificações do fabricante. Amostras de controle de qualidade foram incluídas em cada lote analítico para monitoramento da precisão e reprodutibilidade do ensaio.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente, foram calculadas estatísticas descritivas para todas as variáveis, incluindo média e desvio padrão para variáveis contínuas e frequências absolutas e relativas para variáveis categóricas. A normalidade da distribuição dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Como as variáveis contínuas não apresentaram distribuição normal, as comparações entre os grupos exposto e controle foram realizadas utilizando o teste não paramétrico de Mann-Whitney para amostras independentes. Para as variáveis categóricas, as diferenças entre os grupos foram avaliadas por meio do teste exato de Fisher.

As associações entre os níveis de 8-OHdG e as variáveis ambientais, biológicas e socioeconômicas foram avaliadas por meio do coeficiente de correlação de Spearman (ρ). Para

explorar a estrutura de correlação entre as variáveis, foi construída uma matriz de correlação de Spearman representada graficamente por um heatmap.

Adicionalmente, foi realizada análise de cluster hierárquico, utilizando como medida de distância $1 - \rho$ (coeficiente de correlação de Spearman) e método de ligação de Ward, permitindo identificar padrões de similaridade entre as variáveis analisadas. Os agrupamentos foram representados graficamente por meio de dendrogramas, facilitando a visualização das relações entre variáveis ambientais, biológicas e socioeconômicas.

Por fim, foram construídos modelos exploratórios de regressão linear múltipla para avaliar possíveis associações entre os níveis de 8-OHdG (variável dependente) e variáveis ambientais, biológicas e socioeconômicas selecionadas. As variáveis independentes foram selecionadas com base na plausibilidade epidemiológica e na análise preliminar de correlação. O nível de significância estatística adotado foi de 5% ($p < 0,05$).

3. RESULTADOS

As características sociodemográficas, comportamentais, ambientais e biológicas dos participantes são apresentadas na Tabela 1. Os grupos apresentaram distribuição semelhante de idade e sexo, de maneira que a média de idade foi de $54,80 \pm 10,69$ anos no grupo controle e $54,70 \pm 12,97$ anos no grupo exposto, sem diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p = 0,98$). A distribuição por sexo também foi idêntica em ambos os grupos, sendo 40% mulheres e 60% homens. A frequência de tabagismo e consumo de bebidas alcoólicas foi maior entre os trabalhadores expostos (35%) em comparação ao grupo controle (20%); contudo, essas diferenças não apresentaram significância estatística ($p = 0,47$ para ambas as variáveis). O índice de massa corporal também foi superior entre os trabalhadores expostos ($26,46 \pm 3,68 \text{ kg/m}^2$) em relação ao grupo controle ($24,17 \pm 3,19 \text{ kg/m}^2$) ($p = 0,04$).

Tabela 1. Características sociodemográficas, comportamentais, ambientais e biológicas dos participantes.

Variável	Controle (n = 20)	Exposto (n = 20)
Idade (anos) ^a	54,80 ± 10,69	54,70 ± 12,97
Sexo feminino ^b	8 (40%)	8 (40%)
Sexo masculino ^b	12 (60%)	12 (60%)
Escolaridade (anos) ^a	12,20 ± 2,02*	9,15 ± 3,45
Renda mensal (R\$) ^a	5370,30 ± 3020,37*	2915,73 ± 1482,66
IMC (kg/m ²) ^a	24,17 ± 3,19	26,46 ± 3,68*
Tabagismo ^b	4 (20%)	7 (35%)
Consumo de álcool ≥1x/semana ^b	4 (20%)	7 (35%)
PM _{2.5} (µg/m ³) ^a	1,48 ± 0,52	3,10 ± 0,00**
Ruído ambiental (dB) ^a	49,05 ± 5,60	66,25 ± 5,85**
8-OHdG salivar (pg/mL) ^a	3,78 ± 1,90	6,97 ± 2,71**

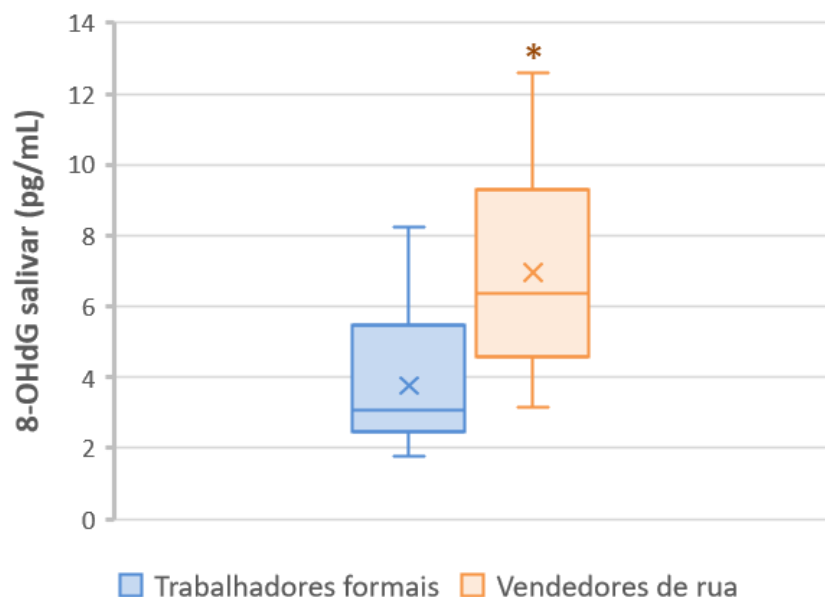
Fonte: os autores.

Nota: ^aTeste de Mann–Whitney; ^bTeste exato de Fisher *p<0.05; **p<0.001

No que diz respeito às variáveis socioeconômicas e ambientais foram observadas diferenças estatisticamente significativas, sendo que o grupo controle apresentou maior escolaridade média (12,20 ± 2,02 anos) e maior renda mensal (R\$ 5.370,30 ± 3.020,37) em comparação ao grupo exposto (9,15 ± 3,45 anos e R\$ 2.915,73 ± 1.482,66, respectivamente; $p < 0,01$ para ambas as variáveis). Em relação aos fatores ambientais, os trabalhadores informais estiveram expostos a níveis significativamente maiores de material particulado fino (PM_{2.5}) e ruído ambiental. Dessa forma, as medições realizadas no local de trabalho do grupo exposto apresentaram concentração média de PM_{2.5} de 3,10 µg/m³, enquanto o local de ocupação do grupo controle apresentou média de 1,48 ± 0,52 µg/m³ ($p < 0,001$). De forma semelhante, os níveis médios de ruído foram significativamente maiores entre os espaços dos trabalhadores expostos ao centro da cidade (66,25 ± 5,85 dB) em comparação ao grupo controle (49,05 ± 5,60 dB) ($p < 0,001$).

Os níveis salivares do biomarcador de estresse oxidativo 8-OHdG foram significativamente maiores no grupo exposto (6,97 ± 2,71 pg/mL) em comparação ao grupo controle (3,78 ± 1,90 pg/mL) ($p < 0,001$), indicando maior ocorrência de dano oxidativo ao DNA associada à exposição ocupacional à poluição atmosférica urbana, conforme evidenciado pela figura 2.

Figura 2. Distribuição dos níveis de 8-OHdG salivar (pg/mL) em trabalhadores controle e trabalhadores informais expostos à poluição atmosférica urbana.



Fonte: os autores.

Nota: * Diferença significativa (Mann–Whitney para amostras independentes, $p < 0,05$).

A análise de correlação de Spearman revelou associações estatisticamente significativas entre os níveis salivares de 8-OHdG e diversas variáveis ambientais, biológicas e socioeconômicas (Tabela 2). Observou-se correlação positiva moderada entre 8-OHdG e $PM_{2.5}$ ($\rho = 0,53$), ruído ambiental ($\rho = 0,43$) e IMC ($\rho = 0,45$). Por outro lado, renda ($\rho = -0,41$) e escolaridade ($\rho = -0,39$) apresentaram correlação negativa com o biomarcador de estresse oxidativo.

Tabela 2. Matriz de correlação de Spearman entre variáveis.

Variável	Escolaridade	Renda	IMC	PM _{2.5}	Ruído	8-OHdG
Escolaridade	1,00	0,29 (0,09)	-0,01 (0,96)	-0,55 (<0,001)	-0,50 (0,001)	-0,31 (0,05)
Renda	0,29 (0,09)	1,00	-0,11 (0,52)	-0,44 (0,008)	-0,38 (0,024)	-0,41 (0,014)
IMC	-0,01 (0,96)	-0,11 (0,52)	1,00	0,18 (0,26)	0,39 (0,014)	0,46 (0,003)
PM _{2.5}	-0,55 (<0,001)	-0,44 (0,008)	0,18 (0,26)	1,00	0,74 (<0,001)	0,50 (0,001)
Ruído	-0,50 (0,001)	-0,38 (0,024)	0,39 (0,014)	0,74 (<0,001)	1,00	0,41 (0,009)
8-OHdG	-0,31 (0,05)	-0,41 (0,014)	0,46 (0,003)	0,50 (0,001)	0,41 (0,009)	1,00

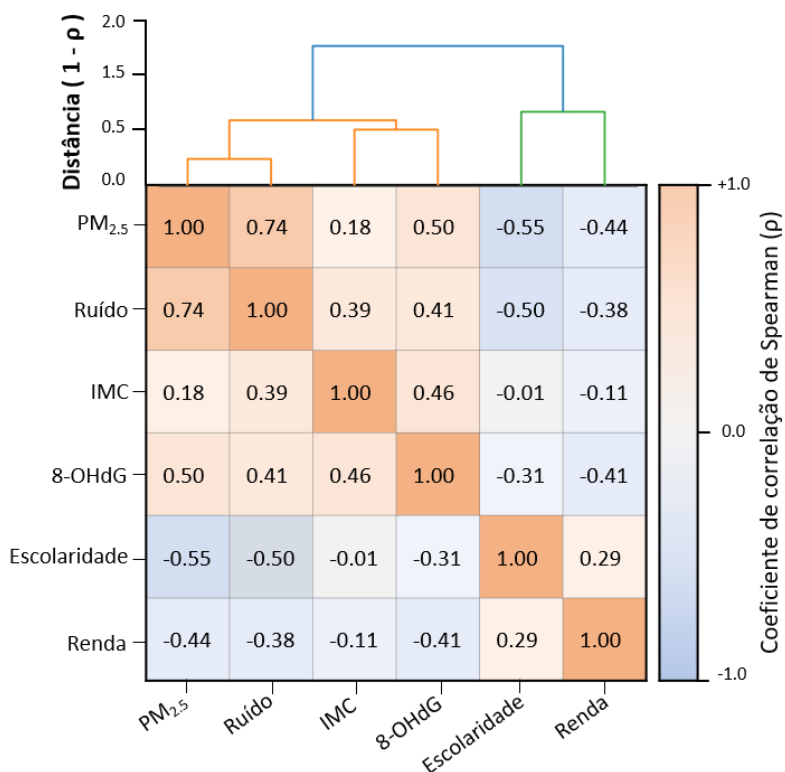
Fonte: Os autores

Nota: Os coeficientes de correlação (ρ) são apresentados com seus respectivos valores de **p** entre parênteses. As correlações estatisticamente significativas (**p** < **0,05**) estão destacadas em negrito.

A estrutura de correlação entre as variáveis foi visualizada por meio de um heatmap associado à análise de cluster hierárquico (Figura 3). O agrupamento hierárquico evidenciou dois clusters principais, de forma que o primeiro agrupou as variáveis socioeconômicas (escolaridade e renda), refletindo o perfil estrutural dos participantes, enquanto o segundo cluster reuniu as variáveis ambientais ($PM_{2.5}$ e ruído), o índice de massa corporal e o biomarcador 8-OHdG, sugerindo interação entre exposição ambiental, fatores biológicos e estresse oxidativo. O dendrograma confirmou esse padrão de agrupamento, indicando forte proximidade entre $PM_{2.5}$ e ruído, bem como associação dessas variáveis com 8-OHdG.

A partir da matriz de correlação e da análise de cluster, foi realizada uma avaliação preliminar de colinearidade para orientar a construção dos modelos multivariados. Todos os modelos apresentaram valores de VIF inferiores a 5, indicando níveis aceitáveis de independência entre as variáveis preditoras e ausência de multicolinearidade relevante. Com base nesses resultados, foram ajustados cinco modelos de regressão linear múltipla para avaliar os determinantes dos níveis salivares de 8-OHdG (Tabela 3). Entre os modelos avaliados, o Modelo 1 apresentou o melhor desempenho estatístico (R^2 ajustado = 0,434; AIC = 160,03). Nesse modelo, o $PM_{2.5}$ manteve associação positiva e estatisticamente significativa com os níveis de 8-OHdG, indicando que a exposição ao material particulado fino constitui um importante determinante ambiental do estresse oxidativo. O índice de massa corporal também apresentou associação positiva independente, sugerindo influência de fatores metabólicos sobre a variabilidade dos níveis do biomarcador.

Figura 3. Matriz de correlação de Spearman com dendrograma hierárquico entre variáveis.



Fonte: os autores.

Nota: O agrupamento hierárquico foi baseado na distância $1-\rho$. As cores indicam a magnitude e a direção das correlações.

Nos modelos que incluíram ruído como variável de exposição ambiental, observou-se menor capacidade explicativa, possivelmente devido à colinearidade parcial entre ruído e PM_{2.5}. As variáveis socioeconômicas (escolaridade e renda) atuaram principalmente como fatores de ajuste nos modelos multivariados, refletindo diferenças estruturais entre os grupos estudados.

Em conjunto, os resultados indicam que a exposição ocupacional à poluição atmosférica urbana, especialmente ao material particulado fino, está associada ao aumento dos níveis salivares de 8-OHdG em trabalhadores informais, sugerindo maior ocorrência de dano oxidativo ao DNA nesse grupo ocupacional.

Tabela 3. Comparação entre modelos de regressão linear múltipla para predição dos níveis salivares de 8-OHdG.

Modelo	Variáveis preditoras	Equação do modelo	R ² ajustado	AIC	VIF (intervalo)
M1	PM _{2.5} * + Esc + IMC*	8-OHdG = -2,50 + 1,28(PM _{2.5}) - 0,22(Esc) + 0,30(IMC)	0,434	160,03	1,29–3,27
M2	PM _{2.5} * + Renda + IMC *	8-OHdG = -4,23 + 1,45(PM _{2.5}) - 0,00018(Renda) + 0,29(IMC)	0,416	161,13	1,18–3,27
M3	PM _{2.5} * + Ruído + IMC *	8-OHdG = -5,26 + 1,93(PM _{2.5}) - 0,035(Ruído) + 0,34(IMC)	0,396	162,28	1,38–3,46
M4	Ruído + Esc* + IMC *	8-OHdG = -1,71 + 0,075(Ruído) - 0,30(Esc) + 0,25(IMC)	0,360	164,30	1,29–3,46
M5	Ruído + Renda + IMC	8-OHdG = -4,27 + 0,091(Ruído) - 0,00025(Renda) + 0,22(IMC)	0,319	166,50	1,18–3,46

Nota: Os modelos incluem combinações de variáveis ambientais (Material Particulado – PM_{2.5} e ruído), socioeconômicas (renda e Escolaridade - Esc) e biológicas (índice de massa corporal - IMC). O desempenho dos modelos foi avaliado por meio do coeficiente de determinação ajustado (R² ajustado) e do Critério de Informação de Akaike (AIC). A multicolinearidade entre as variáveis preditoras foi avaliada por meio do Variance Inflation Factor (VIF), sendo apresentados os intervalos observados em cada modelo. Valores de VIF inferiores a 5 indicam ausência de multicolinearidade relevante. Variáveis estatisticamente significativas ($p < 0,05$) estão indicadas por (*).

4. DISCUSSÃO

Diversos estudos demonstram que o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) está associado ao estresse oxidativo, a alterações genéticas com potencial carcinogênico e à inflamação sistêmica, resultantes tanto de processos endógenos quanto de fatores ambientais, como a poluição atmosférica e o ruído (VALAVANIDIS; VLACHOGIANNI; FIOTAKIS, 2009; JELIC et al., 2021).

As ROS incluem radicais livres, como a hidroxila (-OH), e, quando as defesas antioxidantes celulares são insuficientes para neutralizá-las, essas espécies passam a interagir com estruturas celulares, incluindo o DNA. A guanina, uma das bases nitrogenadas do DNA, é particularmente suscetível à oxidação devido ao seu baixo potencial de ionização e o ataque oxidativo, especialmente no carbono 8, leva à formação de 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG), reconhecida como uma lesão oxidativa ao DNA, que caso não seja reparada, pode resultar em mutações durante a replicação celular (VALAVANIDIS; VLAHOYIANNI; FIOTAKIS, 2005; KORKMAZ; BUTUNER; ROGGENBUCK, 2018).

Embora o acúmulo de 8-OHdG tenha sido associado ao desenvolvimento de diversas doenças, sendo considerado um biomarcador relevante para a detecção precoce de dano oxidativo ao DNA e potencial ferramenta para estratégias preventivas, tradicionalmente, esse biomarcador tem sido quantificado em matrizes como urina e tecidos, em estudos de biomonitoramento (KITAGAWA et al., 2019; YUGAWA et al., 2020; WU et al., 2004), de modo que a utilização de matrizes menos invasivas, como a saliva, ainda tem sido menos explorada (GUG et al. 2022; LONGO et al. 2021).

Do ponto de vista ambiental, o material particulado fino (PM_{2.5}) é um importante indicador de poluição atmosférica, amplamente associado a efeitos adversos à saúde, composto por partículas capazes de penetrar profundamente no trato respiratório e alcançar a circulação sistêmica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2024; BROWN et al., 2013). Em nível celular, a exposição ao PM_{2.5} induz a geração de ROS, levando a danos à membrana lipídica, oxidação de proteínas, apoptose e comprometimento dos sistemas antioxidantes celulares (BECKER; SOUKUP; GALLAGHER, 2002). Esse aumento na produção de ROS promove a oxidação de bases nitrogenadas do DNA, especialmente a guanina, resultando na formação de 8-OHdG (MELÉNDEZ et al., 2025).

Contudo, a resposta ao estresse oxidativo não depende exclusivamente da exposição ambiental, sendo também modulada por fatores biológicos individuais, como o Índice de Massa

Corporal (IMC) (SAMIR; ALI, 2023). Valores elevados de IMC, particularmente em indivíduos com sobrepeso e obesidade, estão associados a um estado inflamatório crônico de baixo grau, caracterizado pela liberação contínua de citocinas pró-inflamatórias por adipócitos e células imunes infiltradas no tecido adiposo (NARUKAWA et al., 2011).

Na mesma direção, índices elevados de IMC estão frequentemente associados a disfunções metabólicas, como resistência à insulina e alterações no metabolismo lipídico, contribuindo para o desequilíbrio entre a produção de radicais livres e os mecanismos antioxidantes (AL-AUBAIDY; JELINEK, 2011) e, como consequência, observa-se maior suscetibilidade ao dano oxidativo em biomoléculas, especialmente no DNA, o que pode ser evidenciado pelo aumento dos níveis de 8-OHdG (DESHMUKH et al., 2026).

Além disso, evidências epidemiológicas indicam que o IMC elevado, associado à inflamação crônica, potencializa os efeitos da exposição ambiental, sugerindo uma interação entre fatores ambientais e biológicos na modulação do estresse oxidativo (MU et al., 2019). Assim, indivíduos com maior IMC tendem a apresentar respostas biológicas mais intensas à exposição ambiental, reforçando a importância de abordagens integradas que considerem simultaneamente variáveis ambientais e biológicas (CLAPP et al., 2004).

As desigualdades socioambientais constituem determinantes centrais na exposição a poluentes, evidenciando a distribuição heterogênea e desigual dos riscos ambientais na população (VAN DEN BREKEL et al., 2024). Na presente pesquisa, o grupo exposto, composto por trabalhadores informais, apresenta menores níveis de renda e escolaridade e está inserido em ambientes urbanos com maior intensidade de poluição, frequentemente sem proteção ocupacional adequada. A correlação inversa observada entre indicadores socioeconômicos e níveis de 8-OHdG reforça o papel dos determinantes sociais na modulação da exposição e da resposta biológica ao estresse oxidativo. Esse cenário evidencia a presença de desigualdade socioambiental, na qual populações vulneráveis estão desproporcionalmente expostas a riscos ambientais (SELLARO et al., 2024).

Nesse sentido, o 8-OHdG salivar apresenta elevado potencial como biomarcador de exposição ambiental, destacando-se por sua natureza não invasiva, o que facilita a coleta, amplia a acessibilidade e favorece sua aplicação em estudos de campo (KAWAI et al., 2018), de maneira que sua sensibilidade permite detectar alterações biológicas precoces, mesmo em níveis subclínicos, contribuindo para estratégias de vigilância, prevenção e promoção da saúde, especialmente em populações vulneráveis ou de difícil acesso (WATANABE et al., 2020). Além disso, a integração de variáveis socioeconômicas, ambientais e biológicas permite a

construção de modelos robustos de biomonitoramento humano, com potencial aplicação em avaliação de risco e vigilância em saúde ambiental (ELONHEIMO et al., 2023; NUNES et al., 2026).

5. CONCLUSÃO

Em síntese, os resultados indicam que a exposição ocupacional à poluição atmosférica relacionada ao tráfego, especialmente ao PM_{2.5}, está associada ao aumento do estresse oxidativo e do dano ao DNA em trabalhadores informais urbanos, com influência adicional de fatores socioeconômicos e metabólicos. Esses achados reforçam a necessidade de abordagens integrativas, que considerem simultaneamente determinantes ambientais, biológicos e sociais.

Apesar dos resultados promissores, algumas limitações devem ser consideradas sobre este estudo piloto, uma vez que teve tamanho amostral reduzido e delineamento transversal, o que limita a inferência causal e a avaliação de variabilidade temporal da exposição e da resposta biológica.

Futuras investigações devem incorporar delineamentos longitudinais, biomarcadores multi-ômicos e métodos de avaliação de exposição de alta resolução, a fim de elucidar mecanismos causais e fortalecer a base científica para intervenções. Sob a perspectiva da Saúde Coletiva, os resultados destacam a urgência de políticas públicas voltadas à redução da exposição e mitigação de riscos, com foco em populações socialmente vulneráveis, contribuindo para a promoção da saúde e da justiça ambiental.

REFERÊNCIAS

AL-AUBAIDY, H. A.; JELINEK, H. F. Oxidative DNA damage and obesity in type 2 diabetes mellitus. *European Journal of Endocrinology*, v. 164, n. 6, p. 899–904, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1530/EJE-11-0053>. Acesso em: 13 abr. 2026.

BECKER, S.; SOUKUP, J. M.; GALLAGHER, J. E. Differential particulate air pollution induced oxidant stress in human granulocytes, monocytes and alveolar macrophages. *Toxicology in Vitro*, v. 16, n. 3, p. 209–218, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0887-2333\(02\)00015-2](https://doi.org/10.1016/s0887-2333(02)00015-2). Acesso em: 13 abr. 2026.

BROWN, J. S.; GORDON, T.; PRICE, O.; ASGHARIAN, B. Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment. *Particle and Fibre Toxicology*, v. 10, p.

12, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-10-12>. Acesso em: 13 abr. 2026.

CARVALHO, Carlos Henrique Ribeiro de. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/4461522e-dd50-4347-beb6-ed5d012f89f4>. Acesso em: 13 abr. 2026.

CLAPP, B. R.; HINGORANI, A. D.; KHARBANDA, R. K.; MOHAMED-ALI, V.; STEPHENS, J. W.; VALLANCE, P.; MACALLISTER, R. J. Inflammation-induced endothelial dysfunction involves reduced nitric oxide bioavailability and increased oxidant stress. *Cardiovascular Research*, v. 64, n. 1, p. 172–178, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cardiores.2004.06.020>. Acesso em: 13 abr. 2026.

DESHMUKH, B.; YADUVANSHI, H.; BHATI, F. K.; BHAT, M. K. Obese serum factors aggravate DNA damage, alter DNA damage response, and promote proliferation in colon cancer cells. *Biochimica et Biophysica Acta: General Subjects*, v. 1870, n. 4, p. 130911, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2026.130911>. Acesso em: 13 abr. 2026.

ELONHEIMO, H. M.; UUSITALO, K.; MOORE, S.; ANDERSSON, A. M.; BABER, R.; WIRKNER, K.; DAVID, M.; KOLOSSA-GEHRING, M.; STEWART, L.; SEPAL, O.; LERMEN, D.; BARTEL-STEINBACH, M.; RANTAKOKKO, P.; KOPONEN, J.; TOLONEN, H. HBM4EU feasibility studies: Lessons learned in combining health and human biomonitoring studies. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 248, p. 114100, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114100>. Acesso em: 13 abr. 2026.

GANGWAR, R. S.; BEVAN, G. H.; PALANIVEL, R.; DAS, L.; RAJAGOPALAN, S. Oxidative stress pathways of air pollution mediated toxicity: Recent insights. *Redox Biology*, v. 34, p. 101545, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101545>. Acesso em: 13 abr. 2026.

GOUVEIA, N.; LEON, A. P. de; JUNGER, W.; LINS, J. de F.; FREITAS, C. U. de. Poluição do ar e impactos na saúde na Região Metropolitana de Belo Horizonte-Minas Gerais, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 10, p. 3773–3781, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-812320182410.29432017>. Acesso em: 13 abr. 2026.

GUG, I.; TERTIS, M.; ILEA, A.; CHIȘ, I. A.; BĂBȚAN, A.-M.; URICIUC, W. A.; IONEL, A.; FEURDEAN, C. N.; BOȘCA, A. B.; CRISTEA, C. Salivary biomarkers in toxicology: an update narrative. In: PATEL, V. B.; PREEDY, V. R.; RAJENDRAM, R. (org.). *Biomarkers in toxicology*. Cham: Springer, 2022. (Biomarkers in disease: methods, discoveries and applications). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-07392-2_70. Acesso em: 13 abr. 2026.

GUNES, A. E.; YILMAZ, O.; ERBAS, C.; DAGLI, S. N.; CELIK, H. High serum 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine levels predict DNA damage and aging in professional divers. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 67, n. 11, p. 1701–1705, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9282.20210748>. Acesso em: 13 abr. 2026.

JELIC, M. D.; MANDIC, A. D.; MARICIC, S. M.; SRDJENOVIC, B. U. Oxidative stress and its role in cancer. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, v. 17, n. 1, p. 22–28, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.4103/jcrt.JCRT_862_16. Acesso em: 13 abr. 2026.

KAWAI, K.; KASAI, H.; LI, Y. S.; KAWASAKI, Y.; WATANABE, S.; OHTA, M.; HONDA, T.; YAMATO, H. Measurement of 8-hydroxyguanine as an oxidative stress biomarker in saliva by HPLC-ECD. *Genes and Environment*, v. 40, p. 5, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41021-018-0095-2>. Acesso em: 13 abr. 2026.

KITAGAWA, H.; KITAJIMA, Y.; KAI, K.; KOMUKAI, S.; TANAKA, T.; KOGA, Y.; MANABE, T.; NOSHIRO, H. Predictive value of the ratio of 8-hydroxydeoxyguanosine levels between cancerous and normal tissues in patients with stage II/III colorectal cancer. *Oncology Reports*, v. 41, n. 5, p. 3041–3050, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3892/or.2019.7086>. Acesso em: 13 abr. 2026.

KORKMAZ, K. S.; BUTUNER, B. D.; ROGGENBUCK, D. Detection of 8-OHdG as a diagnostic biomarker. *Journal of Laboratory and Precision Medicine*, v. 3, p. 0–0, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21037/jlpm.2018.11.01>. Acesso em: 13 abr. 2026.

LONGO, V.; FORLEO, A.; GIAMPETRUZZI, L.; SICILIANO, P.; CAPONE, S. Human biomonitoring of environmental and occupational exposures by GC-MS and gas sensor systems: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 19, p. 10236, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph181910236>. Acesso em: 13 abr. 2026.

MAIA, J. L. M.; NETTO, V. M.; COSTA, B. L. G. da. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro. *Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, e20180145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.001.e20180145>. Acesso em: 13 abr. 2026.

MELÉNDEZ GÉLVEZ, I.; MARTÍNEZ MONTAÑEZ, M. L.; QUIJANO PARRA, A. Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP2,5 en Pamplona, Norte de Santander, Colombia. *Iatreia*, Medellín, v. 25, n. 4, p. 347–356, 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-07932012000400005&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 abr. 2026.

MU, G.; ZHOU, Y.; MA, J.; GUO, Y.; XIAO, L.; ZHOU, M.; CAO, L.; LI, W.; WANG, B.; YUAN, J.; CHEN, W. Combined effect of central obesity and urinary PAH metabolites on lung function: a cross-sectional study in urban adults. *Respiratory Medicine*, v. 152, p. 67–73, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2019.05.002>. Acesso em: 13 abr. 2026.

NARUKAWA, T.; ANZAI, Y.; MURAKAMI, T.; ISOGAI, R.; NAKAGAWA, S.; YAMADA, H. Effects of body mass index (BMI), dietary intake and serum antioxidant vitamin concentration on urinary 8-hydroxydeoxyguanosine and F2-isoprostane excretions. *Anti-Aging Medicine*, v. 8, n. 1, p. 1–6, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3793/jaam.8.1>. Acesso em: 13 abr. 2026.

NUNES, E. P.; ABOU DEHN PESTANA, B.; PEREIRA, B. B. Human biomonitoring and environmental health: a critical review of global exposure patterns, methodological

challenges and research gaps. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, v. 29, n. 2, p. 109–127, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10937404.2025.2529845>. Acesso em: 13 abr. 2026.

PHILLIPS, D. H.; ARLT, V. M. Genotoxicity: damage to DNA and its consequences. *EXS*, v. 99, p. 87–110, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8336-7_4. Acesso em: 13 abr. 2026.

RODRIGUES, P. C. de O.; IGNOTTI, E.; HACON, S. de S. Fatores socioeconômicos aumentam os efeitos nocivos da poluição atmosférica e da temperatura na mortalidade. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 22, e190011, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720190011>. Acesso em: 13 abr. 2026.

SAMIR, M.; ALI, S. Assessment of salivary levels of 8-OHdG in patients with periodontitis and/or obesity. *Basrah Journal of Surgery*, v. 29, n. 2, p. 52–65, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.33762/bsurg.2023.139530.1049>. Acesso em: 13 abr. 2026.

SELLARO, F.; PERNETTI, R.; ODDONE, E. Early biological effects in outdoor workers exposed to urban air pollution: a systematic review. *Environmental Pollution*, v. 362, p. 124985, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124985>. Acesso em: 13 abr. 2026.

TORRES, L. M.; PINHEIRO, C. D. P. da S.; AZEVEDO, S. D.; RODRIGUES, P. R. S.; SANDIM, D. P. R. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. *Naturae*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 23–33, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6441.2020.001.0003>. Acesso em: 13 abr. 2026.

VALAVANIDIS, A.; VLACHOGIANNI, T.; FIOTAKIS, C. 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG): a critical biomarker of oxidative stress and carcinogenesis. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, v. 27, n. 2, p. 120–139, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10590500902885684>. Acesso em: 13 abr. 2026.

VALAVANIDIS, A.; VLAHOYIANNI, T.; FIOTAKIS, K. Comparative study of the formation of oxidative damage marker 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) adduct from the nucleoside 2'-deoxyguanosine by transition metals and suspensions of particulate matter in relation to metal content and redox reactivity. *Free Radical Research*, v. 39, n. 10, p. 1071–1081, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10715760500188671>. Acesso em: 13 abr. 2026.

VALENTIM, V. S.; CAVALER, C. M.; CASTRO, A.; LONGEN, W. C. Representações sociais do trabalho para trabalhadores informais. *Methaodos. Revista de Ciencias Sociais*, v. 9, n. 2, p. 244–257, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.17502/mrcs.v9i2.469>. Acesso em: 13 abr. 2026.

VAN DEN BREKEL, L.; LENTERS, V.; MACKENBACH, J. D.; HOEK, G.; WAGTENDONK, A.; LAKERVELD, J.; GROBBEE, D. E.; VAARTJES, I. Ethnic and socioeconomic inequalities in air pollution exposure: a cross-sectional analysis of nationwide individual-level data from the Netherlands. *The Lancet Planetary Health*, v. 8, n. 1, p. e18–e29, 2024. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00258-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00258-9). Acesso em: 13 abr. 2026.

WATANABE, S.; KAWASAKI, Y.; KAWAI, K. Salivary 8-hydroxyguanine as a lifestyle-related oxidative stress biomarker in workers. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, v. 66, n. 1, p. 57–61, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3164/jcbn.19-72>. Acesso em: 13 abr. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ambient (outdoor) air quality and health. Geneva: World Health Organization, 24 out. 2024. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Acesso em: 13 abr. 2026.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. The synergies of heat stress and air pollution and its health impacts: technical brief. Geneva: World Health Organization, 15 jul. 2025. (WHO Air Quality, Energy and Health Science and Policy Summaries). Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/B09369>. Acesso em: 13 abr. 2026.

WU, L. L.; CHIOU, C. C.; CHANG, P. Y.; WU, J. T. Urinary 8-OHdG: a marker of oxidative stress to DNA and a risk factor for cancer, atherosclerosis and diabetics. *Clinica Chimica Acta*, v. 339, n. 1-2, p. 1–9, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cccn.2003.09.010>. Acesso em: 13 abr. 2026.

YONASHIRO, R.; FERREIRA, L.; GEORGES, S. Percepção de motofretistas sobre a exposição ocupacional à poluição do ar em São Paulo. *Revista Ciências do Trabalho*, n. 18, 2020. Disponível em: <https://rct.dieese.org.br/index.php/rct/article/view/263>. Acesso em: 13 abr. 2026.

YUGAWA, K.; ITOH, S.; YOSHIKUMI, T.; YOSHIYA, S.; TAKEISHI, K.; TOSHIMA, T.; HARADA, N.; IKEGAMI, T.; KOHASHI, K.; ODA, Y.; MORI, M. Prognostic impact of 8-hydroxy-deoxyguanosine and its repair enzyme 8-hydroxy-deoxyguanosine DNA glycosylase in hepatocellular carcinoma. *Pathology International*, v. 70, p. 533–541, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pin.12952>. Acesso em: 13 abr. 2026.