

# IMPACTOS DO PÓ DE TONER NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

## *IMPACTS OF TONER POWDER ON HUMAN HEALTH: A LITERATURE REVIEW*

Giovana de Santi Phelippe Nunes<sup>1</sup>; Vinícius de Santi Phelippe Nunes<sup>2</sup>; Diogo Henrique Oliveira Barbosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Londrina (UEL), Paraná, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Paulo, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), São Paulo, Brasil.

### Resumo

**Introdução:** O pó de toner, amplamente utilizado em impressoras a laser, é composto por partículas finas com potencial de inalação, e isso traz preocupações quanto aos seus impactos na saúde humana. **Objetivo:** Este estudo apresenta uma revisão da literatura científica sobre os riscos associados à exposição a esse material, engloba pesquisas in vitro, em modelos animais e em trabalhadores expostos. **Metodologia:** Realizou-se uma busca sistemática nas bases de dados PubMed, Embase e Scopus, seguindo as diretrizes PRISMA, resultando na inclusão de 13 estudos relevantes. **Resultados:** Evidências experimentais indicam que, em concentrações elevadas, o pó de toner pode apresentar citotoxicidade, embora não haja indícios consistentes de genotoxicidade. Em estudos com animais, a exposição prolongada de altas concentrações provocou inflamação pulmonar, estresse oxidativo e fibrose, sem relação comprovada com a formação de tumores. Em ambientes ocupacionais controlados, investigações epidemiológicas não apontaram aumento significativo no risco de doenças pulmonares graves ou câncer, embora relatos de sintomas respiratórios leves sejam frequentes. **Conclusão:** Os achados sugerem que a exposição ao pó de toner representa risco limitado à saúde quando são adotadas medidas preventivas, como ventilação adequada e uso de equipamentos de proteção individual. Contudo, destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo e de estudos adicionais para elucidar os efeitos decorrentes da exposição crônica em longo prazo.

**Palavras-chave:** Patologia; Pó de toner; Saúde respiratória; Toxicidade.

## Abstract

**Introduction:** Toner powder, widely used in laser printers, consists of fine particles with potential for inhalation, raising concerns about its impacts on human health. **Objective:** This study presents a review of the scientific literature on the risks associated with exposure to this material, encompassing in vitro research, animal models, and exposed workers. **Methodology:** A systematic search of the PubMed, Embase, and Scopus databases was conducted, following the PRISMA guidelines, resulting in the inclusion of 13 relevant studies. **Results:** Experimental evidence indicates that, at high concentrations, toner powder may be cytotoxic, although there is no consistent evidence of genotoxicity. In animal studies, prolonged exposure to high concentrations caused lung inflammation, oxidative stress, and fibrosis, with no proven link to tumor formation. In controlled occupational settings, epidemiological investigations have not shown a significant increased risk of serious lung disease or cancer, although reports of mild respiratory symptoms are frequent. **Conclusion:** The findings suggest that exposure to toner powder poses a limited health risk when preventive measures such as adequate ventilation and personal protective equipment are adopted. However, the need for continued monitoring and additional studies to elucidate the effects of long-term chronic exposure is highlighted.

**Keywords:** Pathology; Respiratory health; Toner powder; Toxicity.

Recebido em: 18-07-2025

Publicado em: 29-06-2026

### *Autor correspondente*

*Vinícius de Santi Phelippe Nunes*

*Endereço: Rua Doutor Cyro Bueno nº 40, Jardim Cinquentenário, CEP: 19060-560  
Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.*

*Email: [vinicius.santi@unesp.br](mailto:vinicius.santi@unesp.br)*

## 1. Introdução

O pó de toner é um material comumente utilizado em impressoras a laser, composto por uma mistura de partículas finas com diâmetro inferior a 10 µm<sup>1</sup>. Sua composição inclui polímeros, resinas, pigmentos, óxido de ferro, nanopartículas e outros aditivos inorgânicos/orgânicos<sup>2</sup>. Apesar do uso generalizado, surgem preocupações quanto aos possíveis efeitos do toner na saúde humana, principalmente pela

possibilidade de inalação em ambientes de trabalho e domésticos<sup>3</sup>.

Pigmentos como o negro de fumo e nanopartículas como o dióxido de titânio, presentes no pó de toner, foram classificados pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) como “possivelmente carcinogênicos para humanos”<sup>4</sup>. Além disso, gases nocivos, como dioxinas e furanos, podem ser liberados durante a incineração<sup>5</sup>. O descarte inadequado em aterros

sanitários pode causar poluição do ar, do solo e da água subterrânea, devido ao pequeno tamanho das partículas, que facilita sua dispersão no ambiente<sup>6</sup>.

O primeiro relato de efeitos adversos à saúde relacionados ao pó de toner remonta a 1994, quando um caso de siderossilicose foi associado à inalação desse material<sup>7</sup>. Desde então, outros estudos indicaram possíveis associações entre a exposição ao toner e doenças como sarcoidose, rinite alérgica e asma. Estudos recentes sugerem que impressoras a laser podem emitir partículas ultrafinas durante o processo de impressão, o que levanta questionamentos acerca de seus efeitos no trato respiratório<sup>8</sup>. A exposição a essas partículas suspensas no ar configura-se como um dos principais riscos para os trabalhadores<sup>9</sup>.

Embora existam evidências sobre os riscos da inalação do toner, muitos estudos apresentam limitações metodológicas, como tamanhos amostrais reduzidos e dificuldades para mensurar a exposição com precisão. Diante disso, o estudo tem como objetivo revisar a literatura científica disponível sobre o pó de toner e analisar os potenciais riscos que sua exposição representa à saúde humana, com foco em pesquisas que investigam sua toxicidade.

## 2. Metodologia

Esta pesquisa foi conduzida de acordo com as diretrizes PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), visando garantir transparência e rigor metodológico. Foram reunidos e analisados estudos relevantes sobre o pó de toner e seus potenciais riscos à saúde humana. Foram

selecionados artigos científicos relacionados ao tema, publicados em periódicos revisados por pares.

### 2.1 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos artigos originais, estudos epidemiológicos e revisões sistemáticas que investigaram os impactos da exposição ao pó de toner na saúde humana, priorizando análises de toxicidade, efeitos respiratórios e possíveis danos sistêmicos. Foram excluídos artigos de opinião, relatos de caso e resumos de conferências, a fim de garantir robustez e confiabilidade.

A revisão contemplou estudos com indivíduos expostos em ambientes ocupacionais e não ocupacionais, incluindo trabalhadores de fábricas de toner, profissionais de escritório usuários de impressoras a laser e modelos animais. A pergunta norteadora foi formulada pelo método PICO: 'Como o pó de toner pode afetar a saúde humana?':

- P (População): Humanos
- I (Intervenção): Exposição ao pó de toner
- C (Comparação): Indivíduos sem exposição
- (Desfecho): Alterações na saúde após a exposição

### 2.2 Estratégia de busca

A busca sistemática foi realizada por três pesquisadores independentes, entre 15 e 30 de maio de 2025, em três bases de dados eletrônicas: PubMed, Embase e Scopus. Foram utilizados descritores em inglês combinados por operadores

booleanos, com base nos critérios de inclusão: “toner powder”, “laser printer”, “respiratory health” e “toner exposure”. Não houve restrição quanto ao ano de publicação, e todos os artigos disponíveis até a data da pesquisa foram considerados.

### 2.3 Processo de seleção (PRISMA)

A seleção dos estudos seguiu as etapas recomendadas pelo protocolo PRISMA. Inicialmente, foram identificados 217 registros nas bases de dados PubMed (45 artigos), Embase (42 artigos) e Scopus (130 artigos). Após a remoção dos estudos duplicados, restaram 70 estudos para triagem por título e resumo.

Na etapa de triagem, 23 artigos da PubMed, 10 artigos da Embase e 37 artigos da Scopus foram analisados para verificação dos critérios de inclusão. Em seguida, foi realizada a leitura completa para elegibilidade, e aqueles que não atenderam aos critérios (por ausência de

dados sobre efeitos do pó de toner ou falta de desfechos relacionados à saúde) foram excluídos.

Ao final do processo, 13 estudos foram incluídos na revisão, contemplando pesquisas experimentais *in vitro*, estudos com modelos animais e estudos epidemiológicos envolvendo trabalhadores expostos ao pó de toner. O fluxograma PRISMA (Figura 1) apresenta detalhadamente as etapas do processo de seleção.

### 2.4 Extração e análise dos dados

Para cada estudo incluído, foram coletadas informações sobre tipo de pesquisa, período, população, métodos, resultados e conclusões. Em seguida, foi realizada análise descritiva comparativa entre os achados, destacando os efeitos observados em humanos, animais e células, a fim de avaliar os possíveis riscos do pó de toner à saúde.

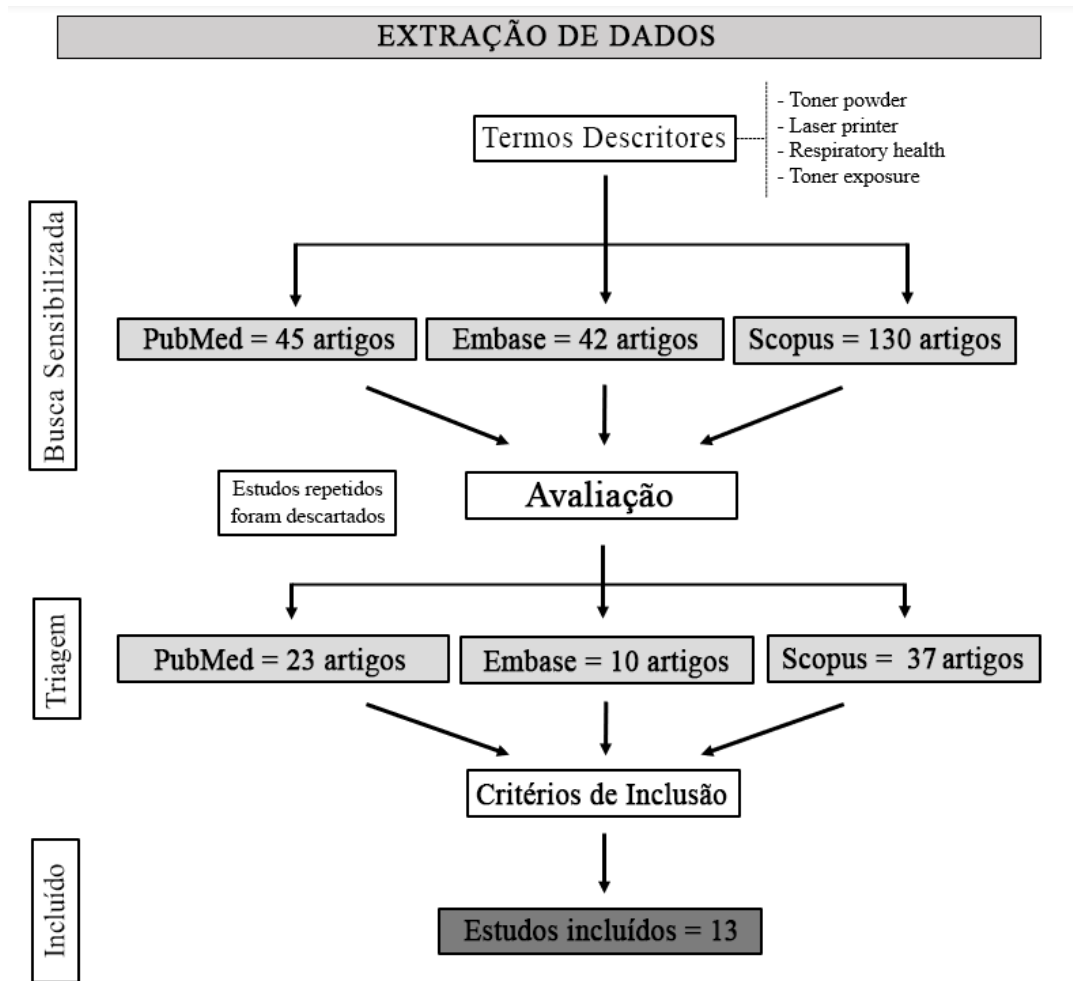


FIGURA 1. Fluxograma PRISMA

**Legenda explicativa:** Fluxograma representando o processo de extração e seleção de dados para a revisão sistemática. A busca foi realizada utilizando os descritores toner powder, laser printer, respiratory health e toner exposure nas bases de dados PubMed (45 artigos), Embase (42 artigos) e Scopus (130 artigos), totalizando 217 registros iniciais. Após a remoção de estudos duplicados, restaram 23 artigos do PubMed, 10 do Embase e 37 do Scopus para triagem. Aplicando os critérios de inclusão, 13 estudos foram selecionados para compor a revisão.

### 3. Resultados

#### 3.1 Estudos em animais

##### 3.1.1 Tomonaga *et al.* (2017)

O estudo conduzido por Tomonaga *et al.* (2017) teve como objetivo investigar os efeitos respiratórios crônicos da

exposição inalatória a partículas de toner contendo aditivos externos, como nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e sílica amorfa, utilizando um modelo experimental em animais. Ratas Wistar fêmeas foram expostas ao toner por inalação durante um período de até 22,5 meses, o que, proporcionalmente, representa décadas de exposição humana em ambientes industriais. Os autores buscaram analisar marcadores

inflamatórios e oxidativos, alterações histológicas e o potencial carcinogênico do material testado<sup>10</sup>.

Os animais foram divididos em quatro grupos experimentais: controle (ar limpo), baixa exposição (1 mg/m<sup>3</sup>), exposição média (4 mg/m<sup>3</sup>) e alta exposição (16 mg/m<sup>3</sup>). As exposições ocorreram seis horas por dia, cinco dias por semana. O toner utilizado foi especialmente formulado para o experimento, contendo uma matriz polimérica com negro de fumo, cera e aproximadamente 4 a 5% de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> e sílica amorfa em sua superfície, simulando composições comuns em toners industriais modernos<sup>10</sup>.

Durante o experimento, os animais foram submetidos a avaliações em três períodos: aos 6, 12 e 22,5 meses. Os testes incluíram análise do fluido de lavagem broncoalveolar (BALF), quantificação de citocinas inflamatórias (CINC-1, CINC-2 e CINC-3), avaliação do estresse oxidativo por meio dos marcadores HO-1 e 8-OHdG, medição da atividade de mieloperoxidase (MPO) como indicador de ativação de neutrófilos, além de avaliações histopatológicas dos pulmões para detecção de fibrose e tumores.

Os resultados mostraram que os animais dos grupos de baixa (1 mg/m<sup>3</sup>) e média (4 mg/m<sup>3</sup>) exposição não desenvolveram inflamação pulmonar persistente, nem apresentaram alterações significativas em marcadores oxidativos ou lesões estruturais relevantes no tecido pulmonar. Houve apenas leve infiltração de macrófagos, sem progressão para fibrose. Em contraste, animais expostos a maior concentração (16 mg/m<sup>3</sup>) apresentaram respostas inflamatórias marcantes, com aumento significativo da contagem de neutrófilos no BALF e

elevação sustentada de citocinas inflamatórias, como CINC-1 e CINC-2. Além disso, foi observado aumento nos níveis teciduais de HO-1 e 8-OHdG, indicando a presença de estresse oxidativo e possível dano ao DNA celular. Histologicamente, fibrose pulmonar grau 4, compatível com alterações intersticiais discretas, foi identificada em alguns animais expostos à alta concentração após 12 e 22,5 meses. Apenas um caso de tumor pulmonar foi registrado no grupo de alta exposição no final do experimento, sem atingir significância estatística<sup>10</sup>.

Um ponto central do estudo foi a comparação entre os níveis experimentais e as condições de exposição ocupacional humana. Para isso, os autores utilizaram o modelo matemático MPPD (Multiple-Path Particle Dosimetry) para estimar a equivalência de carga pulmonar entre ratos e humanos. De acordo com suas estimativas, a exposição de 16 mg/m<sup>3</sup> por 22,5 meses em ratos seria comparável a, aproximadamente, 36 anos de exposição humana a 3 mg/m<sup>3</sup>, valor correspondente ao limite de exposição ocupacional recomendado pela ACGIH. Por outro lado, os níveis de 1 mg/m<sup>3</sup> e 4 mg/m<sup>3</sup> foram considerados mais representativos de exposições típicas em ambientes industriais reais, especialmente em locais com ventilação eficaz e medidas de controle de poeira<sup>10</sup>.

Com base nesses dados, os autores concluíram que apenas exposições acima do limiar de sobrecarga pulmonar, como as representadas pela concentração de 16 mg/m<sup>3</sup>, foram capazes de induzir efeitos inflamatórios pulmonares, fibrose e estresse oxidativo persistente. Em contraste, exposições semelhantes ou inferiores ao limite ocupacional não geraram alterações

adversas significativas. Assim, o estudo apoia a ideia de que o toner com aditivos externos, quando manuseado sob condições de trabalho bem controladas, não apresenta riscos relevantes à saúde respiratória<sup>10</sup>.

### 3.1.2 Muhle *et al.* (1991)

O estudo conduzido por Muhle *et al.* (1991) teve como objetivo investigar os efeitos toxicológicos e carcinogênicos da exposição inalatória crônica a partículas de toner em ratos ao longo de um período de 24 meses. A pesquisa seguiu as diretrizes da OECD para estudos combinados de toxicidade crônica e carcinogenicidade<sup>11</sup>.

Novecentos ratos Fischer-344 de ambos os sexos foram utilizados, adquiridos livres de patógenos específicos e distribuídos aleatoriamente entre os grupos. Os animais foram alojados, individualmente, em gaiolas metálicas em câmaras de exposição de corpo inteiro, com temperatura controlada (23,5±1°C), umidade relativa (40–60%) e ciclo claro/escuro de 12 horas. Os ratos foram expostos a um toner especialmente preparado contendo 90% de copolímero (estireno e butil metacrilato) e 10% de negro de fumo de alta pureza. Os níveis de exposição foram: 0 (controle com ar limpo), 1 mg/m<sup>3</sup> (baixo), 4 mg/m<sup>3</sup> (médio) e 16 mg/m<sup>3</sup> (alto), por 6 horas diárias, 5 dias por semana, durante até 24 meses. Dióxido de silício cristalino (1 mg/m<sup>3</sup>) e dióxido de titânio (5 mg/m<sup>3</sup>) foram utilizados como controles positivo e negativo, respectivamente<sup>11</sup>.

As seguintes avaliações foram realizadas:

- Lavagem broncoalveolar (BAL): Avaliação de células, enzimas

inflamatórias (LDH,  $\beta$ -glucuronidase), proteínas totais e contagem diferencial celular (macrófagos, PMNs, linfócitos).

- Exames histopatológicos: Incluíram análises de nariz, laringe, traqueia, pulmões e linfonodos associados, em sacrifícios seriados e no final do estudo.
- Análises bioquímicas: Testes séricos e urinários para biomarcadores tóxicos, além de análises hematológicas em períodos específicos.
- Função pulmonar: Avaliada em animais conscientes aos 18 meses e em animais anestesiados aos 21 meses.
- Retenção e depuração pulmonar: Estudadas por meio de traçadores poliméricos, com medições em diferentes tempos para avaliar acúmulo e eliminação de partículas.
- Análises estatísticas: ANOVA, testes de Dunnett e análise de sobrevivência de Kaplan-Meier.

A exposição a 16 mg/m<sup>3</sup> de toner causou aumento significativo no peso relativo dos pulmões (até 40%), inflamação crônica, proliferação de células inflamatórias e fibrose pulmonar em até 92% dos animais do grupo de alta exposição. Alterações marcantes nos parâmetros bioquímicos foram observadas no BAL, como elevação de LDH (até 6,79 vezes),  $\beta$ -glucuronidase (até 28,3 vezes) e proteínas totais (até 2,6 vezes) em comparação aos controles<sup>11</sup>.

Foi observada retenção prolongada de partículas nos macrófagos, com aumento da meia-vida de depuração pulmonar. O padrão inflamatório (aumento de PMNs e agregados de partículas) foi consistente com resposta à

sobrecarga pulmonar, típica de materiais pouco solúveis com baixa toxicidade intrínseca<sup>11</sup>.

A gravidade da fibrose aumentou proporcionalmente à dose e ao tempo de exposição. No grupo de alta exposição, até 35% dos animais apresentaram fibrose moderada. No entanto, a frequência de tumores pulmonares nos grupos expostos ao toner foi semelhante à dos controles com ar limpo e TiO<sub>2</sub>, sem evidência de carcinogenicidade do toner testado. Em contraste, o grupo exposto ao SiO<sub>2</sub> apresentou incidência significativamente maior de tumores benignos e malignos (até 19%)<sup>11</sup>.

O estudo concluiu que a exposição crônica a toner em níveis muito altos (16 mg/m<sup>3</sup>) induz resposta inflamatória pulmonar, fibrose e aumento do peso pulmonar, características consistentes com sobrecarga pulmonar. No entanto, essas alterações não foram acompanhadas por aumento na incidência de tumores, sugerindo que o toner não é carcinogênico, mesmo em condições extremas de exposição<sup>11</sup>.

## 3.2 Estudo em células humanas

### 3.2.1 Meyer *et al.* (2023)

Meyer *et al.* (2023) desenvolveram um estudo com células epiteliais nasais e fibroblastos obtidos de 10 pacientes submetidos a cirurgias nasais. Em laboratório, essas células foram submetidas a duas formas de exposição ao pó de toner: submersa e por aerossol<sup>12</sup>.

A exposição submersa foi realizada adicionando as partículas diretamente a um modelo 3D, criado para simular as

condições normais do trato respiratório. A suspensão das partículas foi diluída até atingir as concentrações de trabalho, e 100 µl dessas concentrações foram adicionados ao compartimento do modelo 3D de cultura celular. A exposição submersa às partículas foi realizada nas concentrações de 10 µg/ml, 100 µg/ml, 1000 µg/ml e 10.000 µg/ml por 24 horas<sup>12</sup>.

A exposição por aerossol foi realizada com partículas nebulizadas, simulando a inalação. Os aerossóis foram gerados por um nebulizador com tamanho de poro de 10 µm. Assumindo um modelo ideal de sedimentação do aerossol, a concentração das partículas expostas foi determinada em relação ao tamanho de toda a superfície da câmara<sup>12</sup>.

Neste estudo, foram realizadas as seguintes análises:

- Citotoxicidade: Avaliada pelo ensaio MTT e pelo teste de exclusão com azul de tripano.
- Genotoxicidade: Investigada pelo ensaio do cometa, que mede a fragmentação do DNA.
- Composição química: Determinada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS).
- Microscopia: A distribuição intracelular das partículas foi analisada por microscopia eletrônica de transmissão (TEM).

Os autores concluíram que a exposição ao pó de toner causa leve citotoxicidade (capacidade de danificar ou destruir células), mas não genotoxicidade (capacidade de danificar o material genético de um organismo e causar mutações ou alterações na estrutura do DNA)<sup>12</sup>.

Em relação à citotoxicidade, observou-se uma redução de 10 a 15% na viabilidade celular em concentrações mais elevadas de partículas de toner. Esse efeito citotóxico foi dependente da dose e foi observado a partir de 8,93 µg/cm<sup>2</sup>. Por outro lado, a análise de genotoxicidade realizada pelo ensaio do cometa não mostrou fragmentação significativa do DNA nas células expostas, indicando que as partículas de toner não possuem efeitos genotóxicos mensuráveis nas condições do estudo<sup>12</sup>.

O exame da estrutura epitelial revelou que as células mantiveram sua diferenciação mucociliar mesmo após a exposição às partículas e não apresentaram alterações significativas na função da barreira epitelial. Portanto, os resultados indicam que as partículas de toner podem induzir um leve efeito citotóxico em concentrações mais elevadas, mas sem causar danos genotóxicos evidentes<sup>12</sup>.

### 3.2.2 Könczöl *et al.* (2013)

O estudo de Könczöl *et al.* (2013) foi conduzido com o objetivo de investigar os efeitos tóxicos das partículas de pó de toner sobre células epiteliais pulmonares humanas. A pesquisa concentrou-se especialmente nos mecanismos associados ao estresse oxidativo, resposta inflamatória e genotoxicidade. Foram utilizadas células epiteliais alveolares humanas (A549), comumente empregadas para simular o epitélio respiratório inferior humano. Três amostras comerciais de toner preto foram selecionadas com base em sua composição e uso frequente em impressoras a laser. As células foram expostas a suspensões de partículas de toner em diferentes concentrações por

24 horas<sup>13</sup>.

Foram realizados os seguintes testes:

- Citotoxicidade: Avaliada pelos ensaios WST-1 (viabilidade mitocondrial) e vermelho neutro (integridade lisossômica).
- Atividade apoptótica: Medida por meio da detecção da atividade das caspases 3/7.
- Potencial de membrana mitocondrial: Avaliado por coloração com DiOC6(3).
- Estresse oxidativo: Formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) detectada com sonda fluorescente DCFH-DA.
- Resposta inflamatória: Liberação de IL-6 e IL-8 medida por ELISA e ativação do NF-κB avaliada por EMSA (ensaio de mobilidade eletroforética).

Os três tipos de toner induziram citotoxicidade de forma dependente da dose. A perda de viabilidade celular foi observada especialmente em concentrações acima de 100 µg/mL. Entretanto, o potencial mitocondrial não foi significativamente alterado. As células A549 expostas liberaram significativamente mais IL-6 e IL-8, além de apresentarem ativação do fator de transcrição NF-κB, sugerindo que os toners atuam como indutores da resposta inflamatória celular<sup>13</sup>.

Os resultados sugerem que as partículas de toner são capazes de causar efeitos adversos em células epiteliais pulmonares humanas, incluindo citotoxicidade, apoptose, estresse oxidativo e inflamação<sup>13</sup>.

### 3.3 Estudos em humanos

### 3.3.1 Terunuma *et al.* (2019)

Terunuma *et al.* (2019) conduziram um estudo de dez anos com 918 trabalhadores do sexo masculino, com idades entre 19 e 50 anos, que trabalhavam oito horas por dia manuseando pó de toner em uma empresa de fabricação de toner no Japão. Além disso, 586 trabalhadores não expostos ao toner foram incluídos no grupo controle. Cada trabalhador respondeu previamente a um questionário para coleta de informações sobre seu histórico médico<sup>3</sup>. Neste estudo, realizado entre 2003 e 2010, a exposição dos trabalhadores ao toner foi medida utilizando um amostrador pessoal de partículas. Os componentes do toner aos quais os trabalhadores estavam expostos incluíam 70–80% de resina poliéster, 10–20% de óxido de ferro, <10% de sílica amorfa, <10% de negro de carbono e <1% de dióxido de titânio<sup>3</sup>.

Não foram observados novos casos de pneumonia intersticial granulomatosa nem pneumoconiose, durante o período de 10 anos. Em contrapartida, quatro indivíduos desenvolveram câncer de pulmão durante o acompanhamento; entre eles, três eram trabalhadores que manuseavam toner (todos envolvidos em atividades de baixa exposição, incluindo um fumante) e um era trabalhador do grupo controle (fumante). A taxa de incidência de câncer de pulmão por 100.000 pessoas-ano foi de 38,4 no grupo exposto e 19,5 no grupo controle. A razão de incidência entre os grupos foi de 1,97, sem diferença estatisticamente significativa. A prevalência de asma variou de 0,7% a 2,1% em todos os anos do estudo, semelhante, portanto, entre os grupos<sup>3</sup>.

O estudo concluiu que não houve diferença estatisticamente significativa na incidência de doenças respiratórias entre os grupos. Os autores explicam que os trabalhadores atuavam em ambientes bem ventilados, com sistemas de exaustão eficientes. O uso de máscaras era obrigatório, resultando em baixos níveis de inalação. Assim, em ambientes com ventilação adequada e medidas de proteção eficazes, o manuseio do pó de toner não apresentou efeitos adversos relevantes à saúde humana<sup>3</sup>.

### 3.3.2 Nakadate *et al.* (2006)

Nakadate *et al.* (2006) investigaram trabalhadores que manuseavam toner. No estudo original, 627 trabalhadores expostos e 218 indivíduos controle, com idades entre 20 e 61 anos, foram analisados por meio de questionários padronizados para coleta de informações sobre sintomas respiratórios, histórico de doenças pulmonares e hábitos de tabagismo. Além disso, foram realizados testes de função pulmonar e radiografias de tórax, seguindo protocolos da American Thoracic Society (ATS) e da International Labor Organization (ILO)<sup>14</sup>.

Os autores observaram que trabalhadores expostos ao toner por mais de 20 anos apresentaram maior prevalência de sintomas respiratórios e pequenas anormalidades radiográficas em comparação ao grupo controle. No entanto, não foi estabelecida uma relação consistente entre exposição ao toner e alterações significativas na função pulmonar ou evidências definitivas de fibrose pulmonar. Apenas 1,9% dos trabalhadores expostos relataram falta de ar, sintoma típico da pneumoconiose. Da mesma forma, a prevalência de tosse crônica com

expectoração, indicador de bronquite crônica, foi de apenas 2,5% entre os expostos<sup>14</sup>.

Os achados de Nakadate et al. (2006) demonstram que a inalação do pó de toner não está fortemente associada a efeitos respiratórios adversos em ambientes de trabalho bem controlados. Contudo, a variabilidade na exposição individual reforça a necessidade de boas práticas de manuseio para reduzir riscos potenciais<sup>14</sup>.

### 3.3.3 Nakadate et al. (2018)

Nakadate et al. (2018) realizaram um estudo ao longo de 10 anos (2003–2013) com trabalhadores expostos ao pó de toner<sup>15</sup>. Durante todo o período, 1176 trabalhadores foram monitorados (587 atuavam na produção de toner; 207 no desenvolvimento de máquinas que utilizavam toner; 346 realizavam manutenção de impressoras e copiadoras; e 36 faziam reciclagem de cartuchos<sup>15</sup>.

Os participantes foram submetidos a exames anuais de raio-X de tórax, espirometria e biomarcadores de estresse biológico, além de responderem questionários sobre sintomas respiratórios. O objetivo foi monitorar alterações pulmonares crônicas e possíveis riscos à saúde associados à inalação do pó de toner em condições reais de trabalho<sup>15</sup>.

Os resultados indicaram que não foram observadas alterações pulmonares fibrosas significativas nos trabalhadores expostos, de acordo com os exames radiográficos e biomarcadores analisados. Contudo, houve aumento na incidência de sintomas respiratórios, especialmente tosse crônica, no grupo

exposto em comparação ao grupo controle. Embora não tenham sido encontradas diferenças significativas nos testes de função pulmonar, os trabalhadores expostos apresentaram tendência à redução da capacidade respiratória ao longo do tempo, sugerindo possíveis efeitos inflamatórios sutis relacionados à exposição prolongada<sup>15</sup>.

O estudo sugere que, em condições controladas de trabalho, a exposição ao pó de toner não resulta em alterações pulmonares graves. Entretanto, sintomas respiratórios e pequenas reduções na função pulmonar podem ocorrer ao longo do tempo, reforçando a importância de medidas adequadas de segurança<sup>15</sup>.

### 3.3.4 Ogami e Higashi (2022)

O estudo realizado por Ogami e Higashi (2022) foi conduzido ao longo de 10 anos e teve como objetivo avaliar os efeitos da exposição ao toner em trabalhadores da indústria de fabricação de toner. Um total de 2.754 trabalhadores foi analisado, incluindo indivíduos expostos e um grupo controle sem contato direto com toner. A pesquisa foi realizada em seis estabelecimentos industriais, utilizando um protocolo padronizado para coleta e análise de dados<sup>16</sup>. Os métodos empregados incluíram:

- Questionário: Avaliação de sintomas e doenças respiratórias utilizando um questionário padronizado (ATS-DLD-78A).
- Avaliação do ambiente de trabalho: Monitoramento da concentração de partículas no ambiente e da exposição individual, utilizando medições por dispersão de luz.

- Análises biológicas: Exames de sangue e urina para avaliar biomarcadores inflamatórios, imunológicos e de estresse oxidativo (IL-6, PCR, IgE, SP-D, KL-6, 8-OHdG, entre outros).
- Testes de função pulmonar: Realizados anualmente por espirometria para medir a capacidade vital forçada (CVF) e o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF1).
- Radiografias e tomografias de tórax: Avaliação de alterações pulmonares, incluindo possíveis casos de pneumoconiose ou outras doenças respiratórias.

Os resultados indicaram que a exposição ao toner em ambientes de trabalho bem controlados não representa riscos significativos para a saúde respiratória dos trabalhadores. A análise de sintomas respiratórios mostrou que alguns participantes relataram tosse persistente, expectoração e falta de ar ao longo do acompanhamento de 10 anos<sup>16</sup>.

No entanto, após ajuste por idade e tabagismo, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos exposto e não exposto ao toner. Além disso, verificou-se que o tabagismo teve maior impacto na manifestação desses sintomas do que a própria exposição ao toner<sup>16</sup>.

As medições ambientais mostraram que as concentrações de partículas variaram conforme a atividade desempenhada, e foram maiores nos setores de reciclagem de máquinas e fabricação de toner. Apesar disso, nenhuma medição ultrapassou o limite ocupacional recomendado de 3,0 mg/m<sup>3</sup>, e os locais de trabalho contavam com medidas adequadas de segurança, como ventilação local e uso de equipamentos

de proteção individual (EPI)<sup>16</sup>.

As análises biológicas realizadas ao longo do estudo não indicaram alterações significativas nos biomarcadores inflamatórios e imunológicos dos trabalhadores expostos. Não foram observadas mudanças relevantes nos níveis de proteína C-reativa (PCR), imunoglobulina E (IgE), surfactante pulmonar D (SP-D) ou 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (8-OHdG). Curiosamente, o biomarcador KL-6, associado à fibrose pulmonar, apresentou níveis mais altos no grupo não exposto, sugerindo que a exposição ocupacional ao toner não está diretamente relacionada ao desenvolvimento de fibrose pulmonar<sup>16</sup>.

Os testes de função pulmonar (CVF e VEF1) não revelaram diferenças significativas entre os trabalhadores expostos e não expostos. A análise também mostrou que o tabagismo teve maior impacto sobre a função pulmonar do que a exposição ao toner. Por fim, exames de imagem, como radiografias e tomografias de tórax, não detectaram sinais de pneumoconiose, fibrose pulmonar ou câncer de pulmão nos trabalhadores expostos ao toner. Não foram observadas alterações patológicas significativas ao longo do acompanhamento, reforçando a conclusão de que a exposição ao toner, dentro de níveis controlados no ambiente de trabalho, não está associada a riscos pulmonares relevantes. Com base nesses achados, o estudo sugere que os riscos à saúde decorrentes do manuseio de toner são baixos, desde que as condições de trabalho sejam adequadas e bem monitoradas<sup>16</sup>.

### 3.3.5 Hasegawa *et al.* (2018)

O estudo conduzido por Hasegawa et al. (2018) teve como objetivo investigar os efeitos respiratórios associados à exposição prolongada ao toner em trabalhadores industriais japoneses ao longo de um período de 10 anos (2004–2013). A pesquisa foi realizada em seis fábricas de uma empresa de fabricação de toner e impressoras, incluindo 752 trabalhadores do sexo masculino, todos com menos de 50 anos no início do acompanhamento<sup>17</sup>. A metodologia foi padronizada e multidimensional, incluindo:

- Questionários anuais: Para investigar sintomas respiratórios crônicos (tosse, escarro, chiado, falta de ar) e histórico médico.
- Avaliação ocupacional e categorização da exposição: Os participantes foram estratificados em três grupos: (1) dados anuais de exposição, (2) análise longitudinal (expostos vs. nunca expostos) e (3) histórico ocupacional cumulativo de manuseio do toner. A exposição foi quantificada por amostradores pessoais de poeira respirável.
- Medições ambientais: Os valores médios ponderados pelo tempo foram calculados anualmente, permanecendo sempre abaixo do limite de 3 mg/m<sup>3</sup>.
- Exames laboratoriais e biomarcadores: Coleta anual de sangue e urina para avaliar leucócitos, PCR, IgE, interleucina-6 (IL-6), interferon- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ), surfactante pulmonar D (SP-D), antígeno KL-6 (associado à fibrose pulmonar) e 8-OHdG (marcador de estresse oxidativo).
- Testes de função pulmonar: Realizados com espirometria tipo pneumotacógrafo (Microspiro HI-701 e

HI-801), medindo CVF, VEF1 e %VEF1.

- Imagem: Radiografias anuais do tórax segundo os critérios da Lei Japonesa de Pneumoconiose, com tomografias para casos suspeitos.

Durante o período do estudo, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Além disso, análises de regressão múltipla não identificaram correlação entre duração da exposição ao toner e declínios da função pulmonar. Em relação aos biomarcadores, algumas diferenças específicas foram observadas, como níveis ligeiramente mais altos de SP-D e IgE em alguns anos no grupo exposto, bem como aumento do KL-6, mas todos permaneceram dentro das faixas de referência e as mudanças não foram persistentes nem clinicamente relevantes<sup>17</sup>.

Sintomas respiratórios crônicos (como escarro persistente) não apresentaram associação clara com a exposição ao toner, e a taxa de novos diagnósticos de doenças pulmonares (incluindo câncer, fibrose ou pneumoconiose) não diferiu entre os grupos. Um caso de câncer de pulmão foi relatado, mas sem associação direta com toner<sup>17</sup>.

Os dados indicam que, sob condições de trabalho controladas, com ventilação adequada e uso de EPI, a exposição prolongada ao toner não está associada a efeitos respiratórios adversos mensuráveis<sup>17</sup>.

### 3.3.6 Sarwate et al. (2020)

O estudo de Sarwate et al. (2020), publicado como um relato de caso clínico, descreveu dois pacientes com um tipo incomum de pneumoconiose associada à exposição ocupacional

prolongada ao pó de toner de gráficas<sup>18</sup>. As características dos pacientes são:

Paciente 1: Homem de 53 anos que trabalhou por 5 a 6 anos em uma gráfica. Suas funções incluíam cortar rolos de papel de até 500 kg em folhas menores e operar impressoras que utilizavam toner em pó. O toner era manuseado em forma de pó, depois transferido de garrafas para compartimentos da impressora várias vezes ao dia, isso criava uma nuvem visível de partículas. O trabalhador não utilizava proteção respiratória. Apresentou tosse persistente e dispneia progressiva por vários meses.

Paciente 2: Também trabalhador de gráfica, assintomático no momento da avaliação, mas com exames alterados.

Os seguintes testes foram realizados:

- Imagem pulmonar (TCAR): Indicou opacidades em vidro fosco, nódulos centrolobulares e espessamento septal nos lobos inferiores, sugerindo padrão inflamatório intersticial.
- Biópsias pulmonares cirúrgicas: Em ambos os pacientes, com achados histológicos de pneumonia intersticial descamativa (DIP), pneumonia intersticial de células gigantes (GIP) e bronquiolite crônica com hiperplasia linfóide.
- Espectroscopia de energia dispersiva (EDS): Identificou a composição elementar das partículas depositadas, sem presença de metais pesados como tungstênio ou cobalto.

Os autores propõem que o toner pode desencadear reações inflamatórias pulmonares crônicas quando inalado em altas concentrações por períodos prolongados. Ressaltam que a ausência de exposição a metais pesados, tabagismo ou outras causas conhecidas

reforça o papel potencial do toner como agente etiológico<sup>18</sup>.

### 3.3.7 Kitamura *et al.* (2018)

O estudo conduzido por Kitamura *et al.* (2018) teve como objetivo principal avaliar o risco de desenvolvimento de doenças respiratórias em trabalhadores ocupacionalmente expostos ao toner, focando em patologias como pneumoconiose, fibrose pulmonar, pneumonite granulomatosa, câncer de pulmão e asma brônquica. O estudo foi realizado de 2004 a 2013 em uma fábrica japonesa de fabricação de toner, envolvendo 296 trabalhadores do sexo masculino, com idades entre 24 e 51 anos no início da pesquisa. Os funcionários foram classificados em dois grupos: Trabalhadores expostos ao toner e um grupo de controle, composto por trabalhadores sem histórico de exposição ocupacional ao toner<sup>19</sup>.

Sensores de poeira individuais (PDS-2) com calibração por métodos gravimétricos foram utilizados como metodologia. Medições paralelas com amostradores de baixo volume (LV) e alto volume (HV) foram realizadas para estabelecer o fator de conversão (K) da concentração em mg/m<sup>3</sup>. Exames de urina e radiografias de tórax também foram realizados<sup>19</sup>.

Durante os 10 anos de acompanhamento, não foram diagnosticados casos de pneumoconiose, fibrose pulmonar, câncer de pulmão ou asma brônquica. Houve flutuações ocasionais em marcadores como IL-6 e KL-6, mas sem padrão consistente que diferenciasse os grupos. Os níveis médios de 8-OHdG/creatinina permaneceram normais, sem indicar estresse oxidativo

persistente. Radiografias não revelaram alterações compatíveis com doenças intersticiais ou nodulares relacionadas à exposição ocupacional<sup>19</sup>.

O estudo concluiu que, nas condições ambientais avaliadas, com controle efetivo da exposição e uso de equipamentos de proteção individual (EPI), o risco de desenvolvimento de doenças pulmonares associadas ao uso de toner é baixo<sup>19</sup>.

### 3.3.8 Ikegami *et al.* (2016)

O estudo de Ikegami *et al.* (2016) teve como objetivo investigar efeitos respiratórios agudos e crônicos associados à exposição ocupacional ao toner em trabalhadores de uma empresa fabricante de toner. A análise foi conduzida por 10 anos, avaliando biomarcadores inflamatórios, função pulmonar, sintomas respiratórios e exames de imagem. 106 trabalhadores foram divididos igualmente entre<sup>20</sup>:

- Grupo de manuseio de toner (n=53): Trabalhadores diretamente envolvidos no desenvolvimento, produção ou manutenção de toner.
- Grupo não exposto (n=53): Trabalhadores administrativos sem contato com toner.

Os funcionários utilizaram amostradores de poeira individuais com filtros de fibra de vidro para coletar a fração respirável. Os dados de exposição foram convertidos em valores médios ponderados de 8 horas. As avaliações envolveram questionários aplicados anualmente para identificar sintomas respiratórios persistentes; análises de sangue e urina; função pulmonar medida por espirometria pneumotacográfica e radiografias de

tórax anuais<sup>20</sup>.

Não foram observadas diferenças significativas nos níveis médios de KL-6, SP-D, PCR, leucócitos ou 8-OHdG entre os grupos de manuseio de toner e controle ao longo dos anos. A análise dos parâmetros espirométricos não revelou declínio significativo na função pulmonar em trabalhadores expostos em comparação com os controles<sup>20</sup>.

A prevalência de sintomas como tosse crônica, produção de escarro e dispnéia foi baixa e não diferiu significativamente entre os grupos. Nenhum dos participantes apresentou sinais radiográficos de pneumoconiose, fibrose pulmonar ou outras alterações pulmonares progressivas ao longo dos 10 anos de estudo<sup>20</sup>.

Este estudo longitudinal demonstrou que a exposição ocupacional ao toner, em níveis ambientalmente controlados, não induz efeitos agudos ou crônicos mensuráveis na saúde respiratória<sup>20</sup>.

### 3.3.9 Yanagi *et al.* (2021)

O estudo conduzido por Yanagi *et al.* (2021) avaliou os efeitos respiratórios agudos e crônicos da exposição ao toner entre 2006 e 2016, em uma empresa de equipamentos de escritório. A pesquisa focou em trabalhadores envolvidos na fabricação de cartuchos e impressoras a laser<sup>21</sup>.

Participaram do estudo 116 funcionários, mas 90 homens foram selecionados (para controlar o viés de gênero), dos quais 65 completaram o acompanhamento de 10 anos (38 expostos e 27 não expostos). Trabalhadores com menos de 50 anos de idade no início do estudo foram excluídos. A mudança de função para o

setor de toners ao longo do tempo resultou na reclassificação do participante como exposto<sup>21</sup>. As avaliações envolveram:

- Medição individual anual com medidores de poeira digitais, com sensores posicionados na gola do uniforme. O tempo de exposição foi registrado diariamente, incluindo o uso de EPI. O valor de referência adotado foi de 3,0 mg/m<sup>3</sup>.
- Questionário padronizado com sintomas respiratórios, histórico de saúde e tabagismo.
- Exames laboratoriais com exames de sangue (leucócitos, PCR, IgE, KL-6 e SP-D) e urina (8-OHdG corrigido para creatinina).
- Função pulmonar avaliada anualmente com espirometria pneumotacográfica (HI-801), medindo PFE, CV, %CV, VEF1,0 e VEF1,0%.
- Radiografias e tomografias computadorizadas anuais em três momentos (baseline, 5º e 10º ano).

Não houve diferenças significativas entre os indivíduos expostos e não expostos nos níveis de leucócitos, PCR, IgE e SP-D. Curiosamente, o grupo não exposto apresentou níveis significativamente maiores de 8-OHdG/creatinina no início do estudo (4,82 vs. 3,84 ng/mg; p=0,047) e níveis de KL-6 ao final do estudo (239 vs. 211 U/mL; p=0,02), embora todos os valores tenham permanecido dentro dos

limites de referência clínica<sup>21</sup>.

A função respiratória permaneceu estável em ambos os grupos. Não foram observados declínios estatisticamente significativos nos parâmetros espirométricos ao longo dos anos, mesmo após ajuste para idade, IMC e tabagismo<sup>21</sup>.

Radiografias e tomografias computadorizadas: Nenhum dos trabalhadores apresentou sinais de pneumoconiose ou doença pulmonar intersticial significativa. As alterações encontradas (por exemplo, espessamento pleural, bolhas) foram igualmente distribuídas entre os grupos exposto e não exposto e não progrediram ao longo do tempo<sup>21</sup>.

O estudo concluiu que, em condições ocupacionais bem controladas, a exposição prolongada ao tônico não induz efeitos mensuráveis na saúde respiratória. Não foram identificadas alterações nos biomarcadores de inflamação, alergia ou fibrose, nem perda funcional pulmonar ou achados radiográficos relevantes em trabalhadores expostos<sup>21</sup>.

#### 4. Discussão

Os estudos revisados mostram algumas relações quanto aos efeitos da exposição ao pó de toner na saúde respiratória e os fatores que podem influenciar esses efeitos, conforme descrito na Tabela 1.

TABELA 1 – Estudos sobre os efeitos do pó de toner na saúde

Estudo	Exposição ao Pó de Toner	Principais Achados	Sintomas Respiratórios	Outros Efeitos à Saúde
Meyer <i>et al.</i> (2023)	Células epiteliais nasais e fibroblastos em modelo 3D (exposição submersa e por aerossol)	Citotoxicidade leve detectada; sem genotoxicidade; distribuição intracelular observada por microscopia eletrônica	Não avaliado diretamente	Sem evidência de mutagenicidade ou câncer
Könczöl <i>et al.</i> (2013)	In vitro (células pulmonares A549) expostas a toners comerciais	Estresse oxidativo, inflamação, citotoxicidade, ativação de NF-κB	Não avaliado diretamente	Dano celular via ROS; sem evidência direta de doença sistêmica ou câncer
Terunuma <i>et al.</i> (2019)	Trabalhadores expostos em ambiente controlado (indústria de toner)	Nenhuma diferença significativa na incidência de doenças respiratórias ou câncer de pulmão; baixos níveis de exposição	Sem efeitos respiratórios graves	Câncer de pulmão observado, mas sem associação estatística com exposição ao toner
Nakadate <i>et al.</i> (2006)	Trabalhadores expostos ao pó de toner (questionários, exames respiratórios, radiografias)	Sintomas respiratórios leves observados; sem evidência de pneumoconiose significativa	Sintomas leves como falta de ar e tosse crônica	Sem câncer; sem doença sistêmica relevante
Nakadate <i>et al.</i> (2018)	Trabalhadores expostos ao pó de toner (testes respiratórios, radiografias, biomarcadores)	Aumento de sintomas respiratórios leves; sem alterações pulmonares graves	Tosse crônica e outros sintomas leves	Sem câncer ou doença sistêmica; possível inflamação de baixo grau
Ogami e Higashi	Trabalhadores expostos em	Nenhuma alteração	Tosse persistente e	Sem câncer; KL-6 mais

(2022)	ambientes controlados (questionários, testes biológicos, função pulmonar)	significativa em biomarcadores de estresse ou função pulmonar; pouca diferença entre grupos	falta de ar, mas não diretamente relacionadas à exposição	elevado no grupo não exposto
Tomonaga <i>et al.</i> (2017)	Ratos expostos a aerossóis de pó de toner em diferentes concentrações	Efeitos respiratórios adversos em altas concentrações; aumento de inflamação nas vias aéreas	Não aplicável a ratos	Fibrose pulmonar, 1 caso de tumor pulmonar em exposição excessiva
Hasegawa <i>et al.</i> (2018)	752 trabalhadores em 6 fábricas ao longo de 10 anos	Elevações discretas de SP-D e KL-6 em alguns anos; sem impacto significativo na saúde	Escarro, sibilância ou dispneia em alguns casos	Sem câncer; biomarcadores dentro da faixa clínica
Sarwate <i>et al.</i> (2020)	2 relatos de caso (trabalhadores de gráfica, sem EPI)	Pneumonia intersticial confirmada por biópsia (DIP, GIP, bronquiolite crônica)	Tosse persistente, dispneia	Doença pulmonar grave (não câncer); inflamação ligada ao toner
Kitamura <i>et al.</i> (2018)	296 trabalhadores de fábrica por 10 anos	Nenhuma doença pulmonar ou câncer; níveis de biomarcadores estáveis; exposição abaixo dos limites	Não significativo	Sem câncer ou doença inflamatória sistêmica
Ikegami <i>et al.</i> (2016)	106 trabalhadores (53 expostos) por 10 anos	Nenhuma alteração significativa em biomarcadores ou função pulmonar	Baixa prevalência	Sem câncer; sem alterações sistêmicas
Yanagi <i>et al.</i> (2021)	65 trabalhadores acompanhados por 10 anos	Função pulmonar estável; biomarcadores normais; alterações leves no grupo não exposto	Poucos sintomas leves	KL-6 e 8-OHdG mais elevados nos controles; sem câncer ou doença sistêmica

Muhle et al. (1991)	Inalação crônica em ratos (1, 4, 16 mg/m <sup>3</sup> por 24 meses)	Inflamação, aumento do peso pulmonar, fibrose, sem aumento de tumores	Não aplicável (modelo animal)	Fibrose pulmonar em alta dose; sem evidência de carcinogenicidade
---------------------	---	---	-------------------------------	---

Fonte: Os autores (2025).

Legenda explicativa: Síntese dos estudos sobre os efeitos do pó de toner na saúde respiratória e sistêmica. A tabela apresenta informações sobre os modelos de exposição (in vitro, animal e ocupacional), principais achados relacionados a citotoxicidade, inflamação e alterações funcionais, além de sintomas respiratórios e outros efeitos à saúde, como câncer e doenças sistêmicas. Observa-se que a maioria dos estudos indica ausência de efeitos graves sob condições controladas, com casos isolados de doenças intersticiais associadas a exposições prolongadas e sem proteção.

#### 4.1 Condições de exposição ocupacional

De modo geral, estudos realizados em ambientes industriais no Japão e na Europa demonstram um padrão recorrente de ambientes bem controlados, com ventilação eficiente, uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e monitoramento regular das concentrações de partículas no ar.

A maioria dos estudos considerou os limites de exposição ocupacional aceitos internacionalmente, particularmente o valor limite de 3 mg/m<sup>3</sup> recomendado pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Estudos com animais<sup>10,11</sup> simularam tanto níveis típicos de exposição (1–4 mg/m<sup>3</sup>) quanto condições extremas (16 mg/m<sup>3</sup>), permitindo extrapolações diretas para a realidade industrial. A equivalência de 22,5 meses de exposição em ratos a 16 mg/m<sup>3</sup> com aproximadamente 36 anos de exposição humana a 3 mg/m<sup>3</sup><sup>10</sup> é particularmente relevante, pois fornece uma abordagem robusta para modelagem de risco.

Estudos em humanos<sup>17,15,16</sup> relataram,

consistentemente, níveis reais de exposição abaixo desse limite em ambientes de produção e manutenção de pó de toner, com controles ambientais eficazes, como ventilação local e uso de EPI.

#### 4.2 Resultados em modelos animais

Em modelos animais, observou-se um limiar claro de toxicidade. Exposições baixas (1–4 mg/m<sup>3</sup>) não causaram alterações estruturais nos pulmões nem ativação persistente de marcadores inflamatórios. No entanto, a exposição contínua a 16 mg/m<sup>3</sup> desencadeou inflamação neutrofílica, elevação de citocinas (CINC-1 e CINC-2), estresse oxidativo (HO-1, 8-OHdG) e, em alguns casos, fibrose pulmonar leve<sup>10</sup>. Muhle et al.<sup>11</sup> relataram de forma semelhante inflamação crônica e fibrose dose-dependente, mas não encontraram aumento estatisticamente significativo de tumores, reforçando a visão de que o pó de toner possui baixa carcinogenicidade intrínseca, mesmo em condições de sobrecarga.

### 4.3 Estudos in vitro com células humanas

Os estudos *in vitro* corroboram os achados *in vivo*. Könczöl et al.<sup>13</sup> demonstraram que a exposição ao pó de toner causa citotoxicidade, apoptose e aumento de citocinas inflamatórias (IL-6 e IL-8), indicando que o toner pode atuar como agente pró-inflamatório. Entretanto, Meyer et al.<sup>12</sup> observaram apenas citotoxicidade leve e ausência de genotoxicidade; a integridade da barreira epitelial foi mantida, mesmo após a exposição às partículas. Esses achados sugerem que o pó de toner pode ser prejudicial em altas concentrações, mas o dano celular é limitado e não genotóxico em condições simuladas de exposição ocupacional.

### 4.4 Estudos epidemiológicos em trabalhadores

A maioria dos estudos epidemiológicos de longo prazo com trabalhadores da indústria de toner<sup>3,14,15,16,17,20,21</sup> indicou que, em condições controladas, a exposição ao pó de toner não está associada à pneumoconiose, câncer de pulmão ou declínios clinicamente significativos na função pulmonar.

Sintomas leves, como tosse e expectoração, foram relatados por alguns trabalhadores expostos, mas geralmente foram comparáveis aos dos grupos controle. Em muitos casos, o tabagismo foi um fator mais relevante para alterações pulmonares do que a exposição ao pó de toner<sup>16,17</sup>. As análises de biomarcadores (PCR, SP-D, KL-6, 8-OHdG) mostraram poucas alterações relevantes ou clinicamente significativas.

O relato clínico de Sarwate et al.<sup>18</sup> é uma exceção importante, mostrando que a exposição prolongada e sem proteção a

altas concentrações de pó de toner pode levar a doenças intersticiais raras. No entanto, esse cenário carecia de qualquer controle ambiental, contrastando fortemente com os ambientes industriais modernos.

### 4.5 Evidências observadas

A análise integrada dos estudos sustenta a conclusão de que o pó de toner possui potencial inflamatório e citotóxico limitado, que só se manifesta em níveis elevados de exposição, superiores aos limites ocupacionais estabelecidos. Em ambientes de trabalho com controle ambiental e uso de EPI, os efeitos adversos à saúde são mínimos ou inexistentes.

Não há evidências consistentes de genotoxicidade, carcinogenicidade ou associação com doença pulmonar crônica quando a exposição permanece dentro dos limites regulatórios. Essa visão abrangente sugere que o pó de toner, como partícula industrial, requer adesão a boas práticas de segurança ocupacional, mas não representa um risco grave à saúde em condições típicas de uso. Manter a exposição abaixo de 3 mg/m<sup>3</sup>, utilizar EPI adequado e implementar ventilação eficaz são medidas suficientes para prevenir desfechos adversos.

## 5. Conclusão

Esta revisão sistemática, fundamentada em 13 estudos internacionais que envolvem experimentos *in vitro*, estudos de coorte e relatos de caso, fornece uma compreensão abrangente dos impactos da inalação de pó de toner na saúde humana. A exposição a esse material, quando realizada em ambientes

ocupacionais devidamente controlados e monitorados, não tem sido associada a efeitos graves, como câncer, pneumoconiose ou fibrose pulmonar.

A exposição crônica de animais a altas concentrações de pó de toner (16 mg/m<sup>3</sup>) resultou em inflamação, fibrose leve e aumento de marcadores de estresse oxidativo, embora sem incidência significativa de tumores<sup>10,11</sup>. Exposições típicas no ambiente de trabalho (1–4 mg/m<sup>3</sup>), que refletem melhor a realidade industrial, não causaram efeitos prejudiciais à saúde.

Em estudos com células humanas, as partículas de pó de toner causaram citotoxicidade dependente da dose e liberação de citocinas inflamatórias, sem provocar danos genotóxicos. Mesmo após a exposição, as células epiteliais respiratórias mantiveram sua estrutura e função mucociliar<sup>12</sup>, indicando um grau relativamente baixo de dano sob níveis realistas de exposição.

Os estudos com trabalhadores, provavelmente os mais relevantes para as políticas de saúde ocupacional, foram unânimes em mostrar que, com controles ambientais adequados e uso de equipamentos de proteção, a exposição ao pó de toner não leva a efeitos clinicamente significativos. Embora sintomas como tosse e dispneia tenham sido ocasionalmente relatados, a maioria dos estudos não encontrou diferenças estatisticamente significativas entre indivíduos expostos e não expostos. Biomarcadores inflamatórios e de estresse oxidativo, testes de função pulmonar e exames de imagem (radiografias, tomografias) reforçaram consistentemente o baixo perfil de risco do pó de toner.

O relato de caso clínico de Sarwate et al.<sup>18</sup>

é uma exceção notável, demonstra que exposições extremas, sem proteção, podem levar a doenças intersticiais crônicas. Isso enfatiza a importância de cumprir rigorosamente as normas de segurança ocupacional, especialmente em gráficas ou setores informais.

Em conclusão, o pó de toner, embora não seja totalmente isento de riscos, apresenta um perfil de segurança relativamente elevado quando manuseado de forma adequada. A adesão rigorosa aos limites ocupacionais de exposição e aos protocolos de segurança é suficiente para minimizar os riscos respiratórios aos trabalhadores. Recomenda-se a continuidade do monitoramento em longo prazo para detectar possíveis efeitos sutis ou cumulativos que possam surgir ao longo do tempo.

## 6. Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflitos de interesses e que esta pesquisa foi autofinanciada.

## 7. Referências

1. PARTHASARATHY M. **Challenges and emerging trends in toner waste recycling: A review**. *Recycling*. 2021;6(3).
2. VERMA N, KUMAR R, SHARMA V. **Analysis of laser printer and photocopier toners by spectral properties and chemometrics**. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc* 2018;196:40–48.
3. TERUNUMA N, IKEGAMI K, KITAMURA H, et al. **A Cohort study on respiratory symptoms and diseases caused by toner-handling work: Longitudinal analyses**

from 2003 to 2013. *Atmosphere* (Basel) 2019;10(11).

4. YORDANOVA D, ANGELOVA S, DOMBALOV I. **Utilisation Options for Waste Toner Powder** [Homepage on the Internet]. Sófia, Bulgaria: 2014; Available from: <http://environment.scientific-journal.com/articles/3/23.pdf>
5. MELNJAK I, VUČINIĆ AA, RADETIĆ L, GRČIĆ I. **Waste Toner Powder In Concrete Industry: An Approach Towards Circular Economy**. *Environ Eng Manag J* [homepage on the Internet] 2019;18(9):1897–1906. Available from: <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/http://www.eemj.eu>
6. SANTOS JW DOS. **Caracterização E Separação Dos Materiais Presentes Em Cartuchos De Toner Pós Consumo - Avaliando O Potencial Econômico Para Reciclagem**. Porto Alegre - RS: 2019;
7. GALLARDO M, ROMERO P, SÁNCHEZ-QUEVEDO MC, LÓPEZ-CABALLERO JJ. **Siderosilicosis due to photocopier toner dust**. *The Lancet* 1994;344(8919):412–413.
8. HE C, MORAWSKA L, TAPLIN L. **Particle Emission Characteristics of Office Printers**. *Environ Sci Technol* 2007;41(17):6039–6045.
9. VERSTRAELEN S, MAES F, JACOBS A, et al. **In vitro assessment of acute airway effects from real-life mixtures of ozone-initiated oxidation products of limonene and printer exhaust**. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2024;
10. TOMONAGA T, IZUMI H, YOSHIURA Y, et al. **Assessment of Pulmonary Toxicity Induced by Inhaled Toner with External Additives**. *Biomed Res Int* 2017;2017.
11. MUHLE H, KILPPER R, MACKENZIE JC, et al. **Pulmonary Response to Toner upon Chronic Inhalation Exposure in Rats**

**Pulmonary Response to Toner upon Chronic Inhalation Exposure in Rats**. MUHLE. 1991;

12. MEYER TJ, TEKIN N, HENSE P, et al. **Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of printer toner particles in a 3D air-liquid interface, primary cell-based nasal tissue model**. *Toxicol Lett* 2023;379:1–10.
13. KÖNCZÖL M, WEIß A, GMINSKI R, MERFORT I, MERSCH-SUNDERMANN V. **Oxidative stress and inflammatory response to printer toner particles in human epithelial A549 lung cells**. *Toxicol Lett* 2013;216(2–3):171–180.
14. NAKADATE T, YAMANO Y, ADACHI C, et al. **A cross sectional study of the respiratory health of workers handling printing toner dust**. *Occup Environ Med* 2006;63(4):244–249.
15. NAKADATE T, YAMANO Y, YAMAUCHI T, OKUBO S, NAGASHIMA D. **Assessing the chronic respiratory health risk associated with inhalation exposure to powdered toner for printing in actual working conditions: a cohort study on occupationally exposed workers over 10 years**. *BMJ Open* 2018;8(10):e022049.
16. OGAMI A, HIGASHI T. **Results of a Series of Epidemiological Investigations on Health Effects in Toner-Manufacturing Workers**. *Atmosphere* (Basel) 2022;13(11):1801.
17. HASEGAWA M, KITAMURA H, IKEGAMI K, et al. **The respiratory effects of toner exposure according to long-term occupational toner handling history: A longitudinal analysis, 2004–2013**. *Int J Occup Med Environ Health* 2018;31(6).
18. SARWATE M, VRBENSKA A, CUMMINGS K, TAZELAAR HD. **Unusual pneumoconiosis in two patients with heavy print toner, and paper dust**

exposure. Am J Ind Med 2020;63(9):821–827.

19. KITAMURA H, OGAMI A, MYOJO T, et al. Health Effects of Toner Exposure Among Japanese Toner-Handling Workers: A 10-Year Prospective Cohort Study. J UOEH 2018;

20. IKEGAMI K, HASEGAWA M, ANDO H, et al. A cohort study of the acute and chronic respiratory effects of toner exposure among handlers: a longitudinal analyses from 2004 to 2013. J UOEH 2016;

21. YANAGI N, ANDO H, IKEGAMI K, et al. A 10-year Follow-up Cohort Study of the Health Effects in Toner-handling Workers. J UOEH 2021;