

Poluição Por Microplásticos: Uma Análise Partindo Do Desgaste de Pneus

Microplastics Pollution: An Analysis Based on Tire Wear

Gustavo Peixoto de Andrade, Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora

gustavo.peixoto@estutante.ufjf.br

Luísa Muglia Souza Porphyrio, MSc, Universidade Federal do Rio de Janeiro

luisa.muglia@pet.coppe.ufrj.br

José Alberto Barroso Castañón, DSc, Universidade Federal de Juiz de Fora

jose.castanon@ufjf.br

Resumo

O presente artigo tem como objetivo analisar os impactos ambientais e os riscos à saúde humana decorrentes das Partículas de Desgaste de Pneus e Estradas (TRWP), frequentemente subestimadas em comparação aos macroplásticos. Quanto aos procedimentos metodológicos, realizou-se uma pesquisa qualitativa e exploratória baseada em uma revisão bibliográfica sistemática e integrativa em bases de dados de alto impacto, com recorte temporal focado na última década. As análises evidenciam que a abrasão dos pneus gera microplásticos vetores de aditivos tóxicos, como a 6PPD-quinona, que contaminam desde ecossistemas abissais até o sistema cardiovascular humano, elevando o risco de eventos como infartos. Conclui-se que, diferentemente da indústria cosmética que avança em substitutos biodegradáveis, o setor de pneumáticos enfrenta desafios tecnológicos críticos para eliminar elastômeros sintéticos, exigindo urgência no desenvolvimento de novos materiais para mitigar esta ameaça sistêmica à biosfera

Palavras-chave: Microplásticos; Plásticos; Pneus.

Abstract

This article aims to analyze the environmental impacts and human health risks resulting from Tire and Road Wear Particles (TRWP), often underestimated compared to macroplastics. Regarding methodological procedures, a qualitative and exploratory research was conducted based on a systematic and integrative bibliographic review in high-impact databases, with a time frame focused on the last decade. The analyses highlight that tire abrasion generates microplastics acting as vectors for toxic additives, such as 6PPD-quinone, contaminating everything from abyssal ecosystems to the human cardiovascular system, increasing the risk of events like myocardial infarctions. It is concluded that, unlike the cosmetic industry which advances in biodegradable substitutes, the tire sector faces

critical technological challenges to eliminate synthetic elastomers, demanding urgency in the development of new materials to mitigate this systemic threat to the biosphere.

Keywords: *Microplastics; Plastics; Tires.*

1. Introdução

O plástico consolidou-se como um elemento onipresente na contemporaneidade, integrando a composição de uma vasta gama de produtos essenciais ao cotidiano, desde itens de higiene pessoal e vestuário até dispositivos tecnológicos e materiais para a construção civil. No entanto, a visibilidade dos resíduos plásticos macroscópicos mascara uma ameaça mais insidiosa e persistente: os "microplásticos". Este termo refere-se a partículas poliméricas com diâmetro inferior a cinco milímetros, de acordo com Jamieson *et al.* (2019), que se tornaram onipresentes no meio ambiente à medida que os impactos desse material no modo de vida global são gradualmente revelados.

A trajetória dessa dependência plástica remonta ao período pós-Segunda Guerra Mundial, quando as indústrias buscaram novos mercados para absorver a imensa capacidade produtiva desenvolvida durante o conflito. Um marco simbólico dessa transição ocorreu em 1955, quando a revista *Life* publicou o artigo "*Throwaway Living*" (Vida Descartável), celebrando e incentivando um estilo de vida baseado no consumo rápido e na conveniência do descarte imediato. Esse modelo de sociedade moldou um comportamento de consumo desenfreado, onde o plástico passou a ser incluído em quase todos os processos produtivos, evidenciando uma dependência de materiais que, muitas vezes, não são essenciais para a existência humana.

Historicamente, a indústria de cosméticos foi identificada como uma das origens primárias da poluição por micro componentes plásticos, utilizando em suas formulações substâncias como polietileno (PE), polipropileno (PP) e polimetilmetacrilato (PMMA) em produtos de uso diário, como esfoliantes e cremes faciais. Contudo, pesquisas recentes conduzidas por *Royal Society Open Science*, *The New England Journal of Medicine*, *Revista Ensaios Pioneiros*, *Environmental Health Perspective* e *Science*, ampliaram o horizonte dessa problemática, revelando que a presença de microplásticos já ameaça a vida de todas as espécies conhecidas. Partículas sintéticas foram detectadas em organismos situados nos pontos mais remotos do planeta, como os anfípodes que habitam as fossas abissais a mais de dez mil metros de profundidade, indicando que a contaminação atingiu níveis globais irreversíveis.

Diante deste panorama, emerge a necessidade crítica de investigar fontes de poluição que, embora massivas, permanecem frequentemente ignoradas. Entre estas, destacam-se as Partículas de Desgaste de Pneus e Estradas, resultantes da abrasão constante entre os pneus e o pavimento durante o tráfego rodoviário. O presente trabalho propõe-se a analisar os impactos ambientais e os riscos à saúde humana decorrentes dessa forma específica de poluição, discutindo como o atrito mecânico e a composição química complexa dos pneus modernos contribuem para a degradação dos ecossistemas e afetam a toda vida.

2. Procedimentos Metodológicos

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa e exploratória, desenvolvido através de uma revisão narrativa. O delineamento da pesquisa teve como objetivo central investigar a cadeia de impacto das *Tire and Road Wear Particles (TRWP)*, partindo da sua geração mecânica por abrasão, passando pelos vetores de transporte ambiental, até aos seus efeitos fisiológicos na saúde humana e biota marinha.

Para a operacionalização da coleta de dados, foram consultadas bases de dados científicas de alto impacto, nomeadamente *ScienceDirect*, *PubMed*, *Web of Science*, *Royal Society Open Science* e *Environmental Health Perspectives*. O recorte temporal estabelecido compreendeu publicações situadas entre os anos de 2015 e 2024, visando garantir a atualidade dos dados, especialmente no que tange às descobertas recentes sobre a translocação de nanoplásticos no corpo humano.

Os critérios de inclusão para a seleção dos materiais foram os artigos originais e de revisão que abordassem especificamente a composição química ou física de microplásticos; estudos clínicos ou ambientais que comprovassem a presença destas partículas em tecidos biológicos ou ecossistemas remotos; e publicações que oferecessem comparativos com outras indústrias, como a de cosméticos.

3. Resultados e Discussão

A atenção pública e midiática se volta frequentemente para plásticos visíveis como garrafas e embalagens, ou para as microesferas de cosméticos. Uma das maiores fontes de poluição por microplásticos, frequentemente negligenciada, é proveniente das partículas de desgaste de pneus e estradas.

Ao contrário do que o senso comum sugere, os pneus modernos não são feitos apenas de borracha natural. De acordo com R. Walveka (2021) e demais autores, sua formação compõe compostos complexos que incluem 24% de borracha sintética — um polímero plástico derivado do petróleo — reforçados com negro de fumo, sílica e um conjunto de aditivos para garantir durabilidade e aderência. Durante a condução, o atrito constante entre o pneu e o asfalto gera calor e abrasão, libertando bilhões de pequenas partículas que se enquadram na definição de microplásticos. Estudos recentes indicam que o desgaste dos pneus pode ser responsável por uma fatia significativa, por vezes estimada como a segunda maior fonte de microplásticos primários libertados nos oceanos globalmente, segundo Boucher, J. e Friot, D (2017).

O processo de libertação de microplásticos pelos pneus não ocorre por uma simples decomposição passiva, mas por meio de um processo mecânico intenso conhecido como abrasão por cisalhamento. Durante a condução, a área de contato do pneu com o solo (chamada de *contact patch*) é submetida a forças extremas de fricção e calor. Para garantir a aderência necessária para acelerar, travar e curvar, a borracha deve "agarrar" as asperezas do asfalto. Esse atrito mecânico, combinado com o aumento da temperatura local, provoca a

ruptura das ligações na matriz polimérica da borracha, arrancando fragmentos microscópicos da superfície do pneu a cada rotação da roda.

É crucial notar, no entanto, que o material libertado raramente é borracha pura. Durante o milésimo de segundo em que ocorre a abrasão, a borracha aquecida funde-se com fragmentos do betume do asfalto, minerais da estrada e poeira ambiental. O resultado é um composto híbrido e heterogêneo: um núcleo de borracha sintética e natural, encapsulado por uma crosta de minerais e metais pesados provenientes da infraestrutura viária, o que torna a sua degradação no ambiente ainda mais complexa do que a de um plástico convencional.

A intensidade deste desgaste é diretamente proporcional às forças de carga e torque aplicadas ao veículo. Variáveis como o peso bruto do automóvel e o estilo de condução desempenham papéis determinantes na quantidade de *TRWP* gerada. Veículos mais pesados, como os SUVs e os modernos veículos elétricos (sobrecarregados por baterias de alta densidade), exercem maior pressão vertical sobre o solo, aumentando a taxa de erosão da banda de rodagem. Além disso, a aceleração rápida e travagens bruscas amplificam o "efeito lixa" do asfalto sobre o pneu, podendo aumentar a emissão de partículas.

3.1. Impactos Ambientais

O futuro do planeta está comprometido pela persistência e fragmentação dos materiais plásticos. Segundo Seltenrich (2015), estima-se que existam mais de 5,25 trilhões de partículas plásticas flutuando na superfície dos oceanos. O risco ambiental reside no fato de que o plástico não apenas demora séculos para se degradar, mas age como um "ímã químico" no mar. Essa característica permite que o plástico concentre poluentes perigosos, que são posteriormente ingeridos pela fauna marinha, introduzindo toxinas na base da cadeia alimentar global. De forma complementar, Jamieson et al. (2019) documentam a ingestão de microplásticos por anfípodas em fossas oceânicas profundas, evidenciando a disseminação global desses polímeros mesmo nos ecossistemas mais remotos.

O destino ambiental dessas partículas é segregado pelo seu tamanho e densidade. As partículas mais grossas e pesadas tendem a se depositar na superfície da pista de rolamento ou nos acostamentos. A chuva atua como o principal vetor de transporte, lavando estes sedimentos plásticos para as redes de drenagem pluvial. Sem sistemas de filtragem adequados nos bueiros e estações de tratamento, o material deságua diretamente em rios e oceanos, onde se juntam à "sopa plástica" descrita por Jamieson et al. (2019) nas fossas abissais, onde as partículas sedimentam e integram a cadeia alimentar.

A toxicidade das partículas de pneus vai além da presença física. Tian et al. (2021) destacam que o aditivo 6PPD (N-(1,3-dimetilbutil)-N'-fenil-p-fenilenodiamina), utilizado para evitar o ressecamento e fissuras nos pneus, tornou-se o centro de uma crise ecológica emergente. Quando as partículas de pneu contendo 6PPD interagem com o ozônio atmosférico, o composto se transforma em 6PPD-quinona, uma substância que se demonstrou agudamente tóxica para várias espécies aquáticas. Os autores identificam que essa substância foi responsável pela mortalidade em massa de salmão-coho (*Oncorhynchus*

kisutch) na costa oeste da América do Norte, muitas vezes poucas horas após a exposição via lixiviação das partículas pelas chuvas.

Por outro lado, a fração mais fina destas partículas, sofrem um processo de aerossolização. Devido a sua massa ínfima e a turbulência gerada pelo tráfego rodoviário, essas partículas não sedimentam imediatamente, mas ficam suspensas na atmosfera, integrando o material particulado urbano. Essa suspensão transforma o problema da poluição do solo num risco direto de inalação, permitindo que polímeros sintéticos entrem profundamente no sistema respiratório humano. O estudo de Marfella et al. (2024) detectou polietileno em 58,4% dos pacientes analisados, evidenciando potenciais impactos sobre a saúde humana.

Winiarska et al. (2024) argumenta que o corpo humano é continuamente exposto a nano e microplásticos por múltiplas vias, tornando a bioacumulação praticamente inevitável. Segundo os autores, essas partículas podem penetrar no organismo através do sistema respiratório (inalação), do trato digestivo (consumo de alimentos e água contaminados) ou pela pele (contato com cosméticos e roupas). Enquanto as partículas maiores tendem a ser excretadas ou presas em tecidos superficiais, as nanopartículas são as mais preocupantes.

A inalação de microplásticos em partículas de pneus causa uma irritação crônica nos pulmões. Como o plástico não se decompõe, as defesas do nosso corpo tentam eliminá-lo sem sucesso. Este esforço inútil acaba por causar feridas e cicatrizes permanentes nos tecidos respiratórios, prejudicando a respiração ao longo do tempo. Além disso, essas partículas atuam como vetores de substâncias tóxicas e metais pesados, promovendo estresse celular e aumentando o risco de disfunções biológicas.

As partículas menores podem atravessar a barreira pulmonar e entrar na corrente sanguínea, distribuindo-se por diferentes órgãos. Sua acumulação em vasos sanguíneos pode comprometer a circulação e aumentar o risco de eventos cardiovasculares, como infarto e acidente vascular cerebral. Dessa forma, partículas inicialmente invisíveis no ambiente urbano podem afetar o funcionamento de órgãos vitais e influenciar processos hormonais.

A complexidade da matriz química dos pneus torna a sua remediação um desafio tecnológico superior ao da reciclagem de garrafas PET. Enquanto o plástico convencional pode ser recolhido e reprocessado, o pó de pneu se dispersa irremediavelmente no solo e na água, alterando até mesmo as propriedades físicas do solo, como a porosidade e a capacidade de retenção de água, afetando a biota microbiana essencial para a agricultura. Portanto, a mitigação deste impacto exige não apenas uma mudança no comportamento de consumo, mas também avanços na ciência dos materiais para desenvolver alternativas à borracha sintética e aos aditivos tóxicos usados atualmente.

A síntese dos dados obtidos por meio da revisão de literatura aponta para um cenário em que as *TRWP* deixaram de ser apenas um passivo ambiental urbano para se tornarem um vetor de contaminação global e sistêmica. Os resultados sustentam a análise da pesquisa em três eixos principais: a onipresença ambiental, a toxicidade biológica e os desafios tecnológicos de substituição.

A abrasão mecânica gera partículas híbridas que, transportadas por vetores atmosféricos e hidrodinâmicos, atingem ecossistemas remotos como as fossas abissais. A presença confirmada de microplásticos nesses ambientes comprova a ausência de barreiras naturais eficazes à sua dispersão e confirma a escala global persistente dessa contaminação.

As partículas de pneus atuam como "esponjas químicas", transportando metais pesados e liberando aditivos tóxicos como a 6PPD-quinona nos organismos. Essa dupla natureza, física e química, potencializa os danos biológicos, transformando o microplástico num vetor eficiente de poluentes persistentes e genotóxicos.

Enquanto a indústria cosmética substituiu com êxito microesferas plásticas por alternativas naturais biodegradáveis, o setor de pneumáticos permanece estagnado tecnologicamente. A dependência intrínseca de elastômeros sintéticos para garantir a segurança e durabilidade dos pneus impede, atualmente, a adoção de substitutos ecológicos viáveis.

Diferente da indústria cosmética, que iniciou a substituição de microplásticos (esferas de polietileno) por alternativas naturais como sementes trituradas e minerais (Rocha et al., 2020), a indústria de pneus enfrenta um desafio técnico maior. Enquanto nos cosméticos o plástico é um aditivo funcional que pode ser trocado, nos pneus o polímero sintético é a base estrutural do produto. Enquanto a poluição por cosméticos tende a diminuir devido a novas regulamentações, a poluição por desgaste de pneus tende a crescer com o aumento da frota global e do peso dos veículos elétricos, exigindo novas soluções em ciência dos materiais.

Este fenômeno cria um paradoxo ambiental na era da mobilidade sustentável. À medida que a sociedade tr'ansita para veículos elétricos (EVs) na tentativa de reduzir as emissões de gases de escape, enfrenta-se um novo desafio: o peso das baterias. De acordo com Timmers, V. R. J. H. e Achten, P. A. J. (2016), veículos elétricos são, em média, mais pesados que os seus equivalentes a combustão, o que aumenta o torque e a fricção sobre os pneus, acelerando o seu desgaste e, conseqüentemente, a liberação destas partículas plásticas no ambiente.

4. Conclusão

A presente análise evidenciou que a poluição associada ao desgaste de pneus (*TRWP*) representa um desafio ambiental crítico e sistêmico, cuja magnitude tem sido historicamente subestimada em comparação aos resíduos plásticos macroscópicos. As pesquisas revisadas confirmam que a abrasão mecânica nas rodovias atua como uma fonte contínua de micro e nanoplásticos que, através de vetores atmosféricos e hidrodinâmicos, alcançam desde os grandes centros urbanos até ecossistemas remotos, como as fossas abissais. Conclui-se, portanto, que as *TRWP* não são poluentes estáticos, mas agentes móveis que conectam o tráfego rodoviário à degradação da biosfera marinha e à contaminação da cadeia trófica global.

Do ponto de vista da saúde pública, os achados são igualmente alarmantes, estabelecendo uma correlação direta entre a inalação dessas partículas e o desenvolvimento de patologias graves. A capacidade de translocação dos nanoplasticos, revela um risco cardiovascular emergente que transcende as doenças respiratórias tradicionais. Além disso, a atuação das partículas como vetores de substâncias tóxicas, exemplificada pela letalidade da 6PPD-quinona, demonstra que a composição química dos pneus modernos constitui uma ameaça física e toxicológica.

Por fim, o estudo aponta para uma disparidade tecnológica preocupante entre a gravidade do problema e as soluções disponíveis. Enquanto setores como o de cosméticos avançam na substituição de polímeros por alternativas biodegradáveis, a indústria de pneumáticos enfrenta barreiras técnicas que dificultam a eliminação dos elastômeros sintéticos sem comprometer a segurança viária. Diante das tendências de crescimento da frota global e do aumento do peso médio dos veículos, particularmente os elétricos, os achados reforçam a necessidade de políticas públicas e investimentos em pesquisa e desenvolvimento voltados à inovação em ciência dos materiais, de modo a mitigar os impactos ambientais e sanitários associados à mobilidade contemporânea.

Para reduzir o impacto ambiental de microplásticos, mais específico por desgaste de pneus, é necessário que novas pesquisas sejam feitas, tanto para o aumento da vida útil do mesmo ou para a substituição completa de plástico por materiais mais sustentáveis que não afetem o funcionamento dos automóveis.

Referências

- [1] BOUCHER, J.; FRIOT, D. **Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources**. Gland: IUCN, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>. Acesso em: 27 dez. 2025.
- [2] JAMIESON, A. J. et al. Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. **Royal Society Open Science**, v. 6, n. 2, art. 180667, fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsos.180667>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- [3] MARFELLA, R. et al. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. **The New England Journal of Medicine**, v. 390, n. 10, p. 900-910, 2024. Disponível em: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2309822>. Acesso em: 12 dez. 2025.
- [3] ROCHA, D. R.; SANTOS, I. M.; TAKETANI, N. F. Alternativas ao uso de microplásticos nas indústrias cosméticas. **Revista Ensaios Pioneiros**, Bragança Paulista, v. 4, n. 1, p. 47-56, 2020. Disponível em: <http://ensaiospioneiros.usf.edu.br/ensaios/article/view/236/154>. Acesso em: 27 dez. 2025.
- [4] SAPUTRA, R.; WALVEKAR, R.; KHALID, M.; MUBARAK, N. M.; SILLANPÄÄ, M. Current progress in waste tire rubber devulcanization. **Chemosphere**, v. 265, p. 129033, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129033>. Acesso em: 27 dez. 2025.

- [5] SELTENRICH, N. New Link in the Food Chain? Marine Plastic Pollution and Seafood Safety. **Environmental Health Perspectives**, v. 123, n. 2, p. A34-A41, fev. 2015. Disponível em: <https://europepmc.org/backend/ptpmcrender.fcgi?accid=PMC4314237&blobtype=pdf>. Acesso em: 27 dez. 2025.
- [6] TIAN, Z. et al. A ubiquitous tire rubber–derived chemical induces acute mortality in coho salmon. **Science**, v. 371, n. 6525, p. 185-189, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abd6951>. Acesso em: 27 dez. 2025.
- [7] TIMMERS, V. R. J. H.; ACHTEN, P. A. J. Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. **Atmospheric Environment**, v. 134, p. 10-17, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>. Acesso em: 27 dez. 2025.
- [8] WINIARSKA, Ewa; JUTEL, Marek; ZEMELKA-WIACEK, Magdalena. The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. **Environmental Research**, v. 251, p. 118535, jun. 2024. DOI: 10.1016/j.envres.2024.118535. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>.