

EXPOSIÇÃO A NANO E MICROPLÁSTICOS E SEUS IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Erivania Maria Timóteo da Cruz¹
Felipe Rodrigues de Almeida²

RESUMO: Resíduos plásticos degradam-se em pequenas partículas as quais podem ser transportadas pelo ar, água e alimentos. Tais partículas podem entrar e sair de nossos corpos e de se deslocarem para órgãos internos, como pulmões, fígado, cérebro, intestinos. Os efeitos negativos sobre a saúde nos sistemas respiratório, hepático, imunológico e gastrointestinal foram relatados em humanos e outros mamíferos em resposta a exposições elevadas a essas partículas, sendo dependentes do tipo, tamanho e quantidade dos plásticos expostos. Esta revisão integrativa da literatura teve como objetivo evidenciar os impactos negativos sobre a saúde decorrentes da absorção direta ou indireta a nano e ou micropartículas de plásticos pelo organismo. Foram realizadas buscas por artigos sobre o tema nas bases de dados PubMed, Medline e BVS (Biblioteca Virtual em Saúde), por meio dos descritores: Microplástico; Nanopartículas Plástica; Inflamação; Toxicidade; Risco de Vida; Avaliação de Impacto de Saúde, utilizando os operadores Booleanos “AND” e “OR” para o cruzamento desses entre si. Como critérios de inclusão, foram admitidos aqueles nas línguas portuguesa, inglesa ou espanhola, publicados entre 2011 a 2022, com texto completo e acesso aberto e gratuito, além de obedecerem à temática proposta. Concluiu-se que a exposição humana a esses detritos pode comprometer a homeostase do organismo. Verificou-se que o número de estudos de biomonitoramento ou aqueles envolvendo modelos *in vivo* é escasso, e a maioria da literatura se concentra-se em modelos experimentais de linhagens celulares *in vitro* para avaliar o risco potencial a essa exposição. Outros estudos são necessários para ampliação desse entendimento.

2355

Descritores: Microplástico. Nanopartículas Plástica. Inflamação. Toxicidade. Risco de Vida. Avaliação de Impacto de Saúde.

¹Nutricionista. Especialista em Nutrição Esportiva Funcional - Universidade Cruzeiro do Sul. Paulista, Pernambuco, Brasil.

²Biomédico e Cirurgião Dentista. Especialista em Saúde Coletiva. Mestre e Doutor em Clínica Integrada. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil

ABSTRACT: Plastic waste breaks down into small particles which can be transported by air, water and food. Such particles can enter and leave our bodies and travel to internal organs such as lungs, liver, brain, intestines. Negative health effects on the respiratory, hepatic, immune and gastrointestinal systems have been reported in humans and other mammals in response to high exposures to these particles, and are dependent on the type, size and amount of plastics exposed. This integrative review of the literature aimed to highlight the negative impacts on health resulting from the direct or indirect absorption of nano and or micro particles of plastics by the body. Searches for articles on the topic were carried out in the PubMed, Medline and VHL (Virtual Health Library) databases, using the descriptors: Microplastic; Plastic Nanoparticles; Inflammation; Toxicity; Life risk; Health impact assessment, using the Boolean operators “AND” and “OR” to cross them with each other. As inclusion criteria, those in portuguese, english or spanish, published between 2011 and 2022, with full text and open and free access, in addition to complying with the proposed theme, were admitted. It was concluded that human exposure to these debris can compromise the homeostasis of the organism. It was found that the number of biomonitoring studies or those involving in vivo models is scarce, and most of the literature focuses on experimental models of in vitro cell lines to assess the potential risk of this exposure. Other studies are needed to expand this understanding.

Descriptors: Microplastic. Plastic nanoparticles. Inflammation. Toxicity. Health risk. Health impact assessment.

INTRODUÇÃO

A progressiva presença de micro e nanoplásticos (MNPLs) no meio ambiente representa uma forte ameaça à saúde humana. Em contato com diversos fatores ambientais, os itens de plástico são cada vez mais fragmentados e acabam gerando micro e nanopartículas plásticas que, dependendo do aumento da razão área/volume superficial de seus polímeros, podem alterar a reatividade do material e expor sua potencial toxicidade. ⁽¹⁾

Na literatura, o microplástico é frequentemente descrito como sendo partículas plásticas de até 5 mm em dimensões, sem limite de tamanho inferior definido. Já o nanoplástico, é um termo proposto para partículas de plásticos que se encontram na faixa submicrônica ($<1 \mu\text{m}$). A ingestão de alimentos e líquidos contaminados, além da inalação desses produtos pelo sistema respiratório são consideradas as principais vias de exposição humana aos MNPLs. ^(1,2)

Por possuir algumas características de interesse à indústria, os MNPLs foram deliberadamente introduzidos em produtos de limpeza, cosméticos, aplicações médicas, além de encontrados em garrafas, roupas, pneus e embalagens. ⁽³⁾ A partir dessas fontes, os MNPLs podem ser transportados para rios, mares, para o ar e cair

com a chuva. Podem ainda ser ingeridos por animais marinhos, tais como peixes, crustáceos e moluscos, além de já terem sido identificados no sal de cozinha. A absorção dessas partículas pode induzir ao estresse oxidativo, resultando em um potencial dano celular e aumento da vulnerabilidade ao desenvolvimento de distúrbios neuronais, hepáticos e digestivos, sendo o trato gastrointestinal humano o local mais provável de exposição ao microplásticos (MPs), gerando disfunção da barreira intestinal e inflamação.^(4, 5, 6,7, 8)

Devido à insuficiência de dados sobre o risco toxicológico da exposição humana aos MNPLs, uma avaliação de risco à saúde populacional torna-se limitada. A medição da exposição a essas partículas plásticas é essencial, mas parece faltar métodos validados e sensíveis o suficiente para detectar traços de pequenas frações (<10 μm) dessas em tecidos biológicos. A determinação da quantidade de MNPLs em tecidos humanos pode ser valiosa, uma vez que o conhecimento sobre a exposição a esses produtos químicos, poderá fomentar ações de proteção à saúde pública.⁽⁹⁻¹⁹⁾

OBJETIVO

Evidenciar os impactos negativos sobre à saúde humana decorrentes da absorção direta ou indireta a nano e ou micropartículas de plásticos pelo organismo.

2357

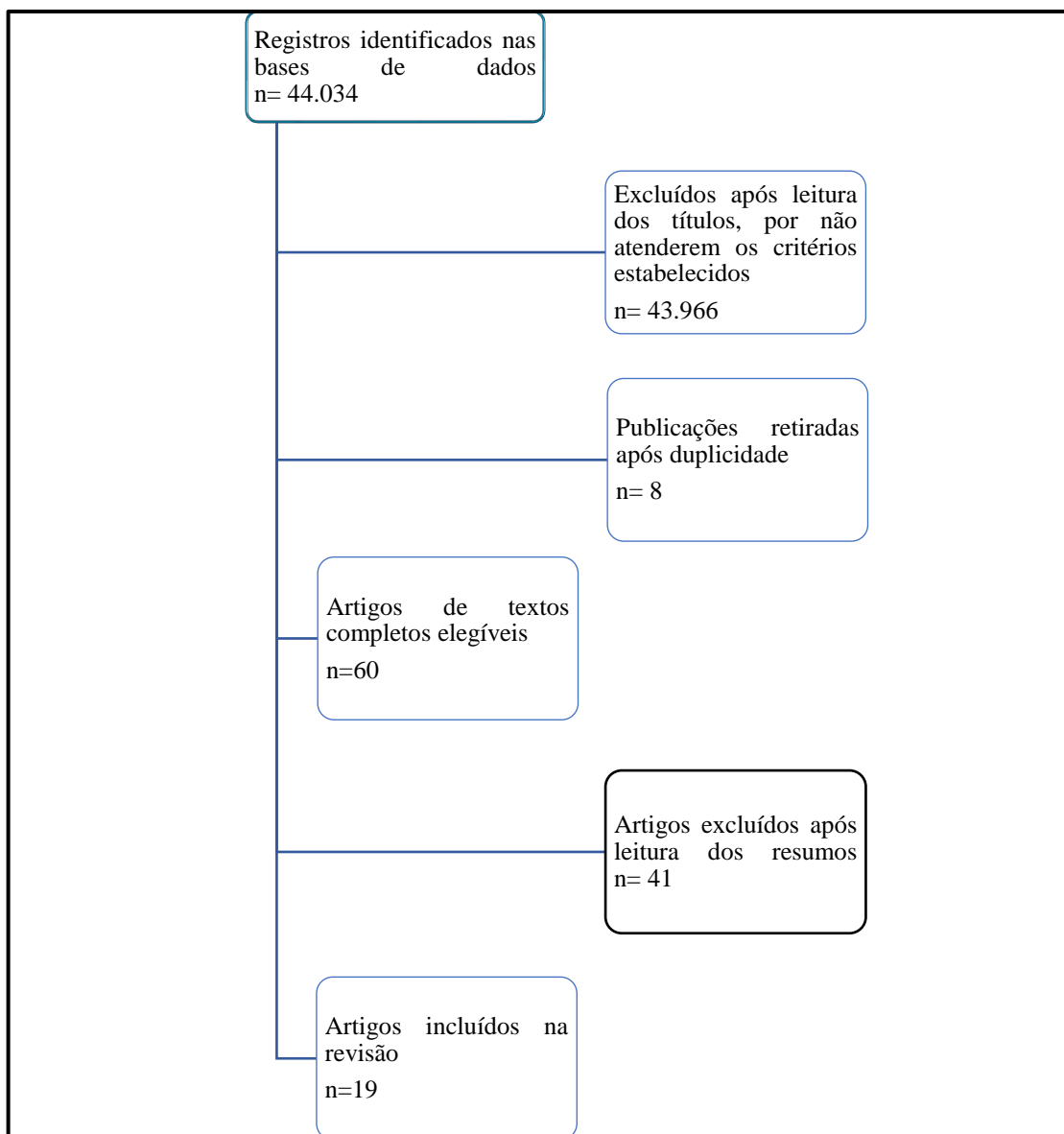
METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão integrativa da literatura onde, para sua elaboração, foram realizadas buscas e seleção de artigos científicos sobre a referida temática nas bases de dados *US National Institute of Health* (PubMed) e BVS/BIREME. Para tal, foi realizada uma estratégia de busca utilizando os operadores Booleanos “OR” e “AND”, utilizando os seguintes descritores DeCS/MeSH: Microplastic; Plastic nanoparticles; Inflammation; Toxicity; Health risk; Health impact assessment, da seguinte maneira: “Microplastic or Plastic nanoparticles and Inflammation or Toxicity and Health risk or Health impact assessment”.

Para inclusão, foram considerados aqueles artigos disponíveis em sua versão original, completos, com acesso aberto e gratuito, relacionados à temática e publicados entre os anos de 2011 a 2022, nas línguas portuguesa, espanhola ou inglesa.

A partir destes critérios propostos, foram selecionados inicialmente 44.034 artigos para leitura dos títulos visando a verificação da pertinência à temática. Assim, foram excluídos 43.966 artigos, por não abordarem o tema. Outros 8 foram excluídos posteriormente pois apresentavam duplicidade entre as bases de dados verificados, restando assim, 60 artigos para leitura dos resumos, onde após esta, foram excluídos 41 artigos por não estarem em delineamento com o estudo proposto. Da elegibilidade final dos artigos selecionados, a amostra da literatura ficou definida em 19 artigos. Todo o processo encontra-se apresentado no fluxograma a seguir. (Figura 1)

Figura 1. Fluxograma - Processo de seleção dos artigos nas bases de dados.



Fonte: Os autores

RESULTADOS

Autor/Ano País Periódico Fator de Impacto (FI)	Objetivo	Metodologia	Limitações do estudo	Conclusão
Domenech J, <i>et al.</i> ⁽¹⁾ , 2021, Espanha Periódico: MDI Journal Biomolecules. FI: 6.064	Observar a dinâmica da absorção de nanoplasticos de poliestireno ao longo do tempo e avaliar os potenciais efeitos citotóxicos e genotóxicos que essa exposição pode induzir.	Estudo analítico observacional com células Caco-2, por oito semanas consecutivas com nanopartículas de poliestireno (PSNPs).	Não foi informado	Os PSNPs se acumularam nas células ao longo do tempo, induzindo alterações nos níveis ultraestrutural e molecular. Nenhum dano ao DNA ou estresse oxidativo foi observado nas células Caco-2.
Leslie HA, <i>et al.</i> ⁽²⁾ , 2018, Amsterdam. Periódico: Environment International. FI:13.352	Desenvolver um método analítico e de amostragem com pirólise de tiro duplo - cromatografia gasosa/ espectrometria de massa (Py-GC/MS) e aplicá-lo para medir partículas plásticas.	Medição das concentrações de massa de polímero individual na amostra, usando pirólise de duplo tiro - cromatografia gasosa/espectrometria de massa (Py-GC/MS) ≥700 nm em sangue total humano de 22 voluntários saudáveis.	Não foi informado	Uma compreensão da exposição a essas partículas plásticas em humanos e o risco associado a tal exposição é necessária para determinar se tal exposição é ou não um risco para a saúde pública.

<p>Zarus GM, <i>et al.</i> (3), 2020, Estados Unidos Periódico: Science of The Total Environment. FI: 10.753</p>	<p>Identificar estudos de microplásticos e nanoplásticos que quantificassem a exposição através das vias de exposição por ingestão, inalação e absorção subcutânea.</p>	<p>Revisão da literatura</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>Identificar estudos de microplásticos e nanoplásticos que quantificassem a exposição através das vias de exposição por ingestão, inalação e absorção subcutânea (não dérmica); trans locação identificada, dose interna, e associações com efeitos na saúde e marcadores relacionados a exposições a tamanhos e tipos específicos de plásticos.</p>
<p>Prüst M, <i>et al.</i>(4) 2020, Holanda Periódico: BMC Part of Springer Nature FI:3.605</p>	<p>Fornecer uma visão geral dos efeitos neurotóxicos relatados a micro e nanoplásticos em diferentes espécies e <i>in vitro</i>.</p>	<p>Revisão da Literatura</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>Apesar da onipresença de micro e nanoplásticos no meio ambiente, há uma escassez geral de dados sobre sua absorção e toxicidade.</p>

<p>Visalli G, <i>et al.</i> (⁵), 2021, Itália Periódico: International of Journal Environmental Research and Public Health FI:4.614</p>	<p>Avaliar os efeitos biológicos da exposição a microplásticos de poliestireno (PS- MPs) com diferentes granulometrias (3 e 10 μm de diâmetro) sobre a linhagem celular epitelial intestinal humana HT29.</p>	<p>Análítico Experimental</p>	<p>O conhecimento atual sobre os níveis de exposição e os possíveis efeitos perigosos das MPs na saúde humana são limitados.</p>	<p>Mais investigações são necessárias para avaliar os riscos à saúde relacionados à exposição a esses poluentes persistentes onipresentes.</p>
<p>Smith M, <i>et al.</i> (⁶), 2018, Estados Unidos Periódico: Current Environmental Health Reports. FI: 6.521</p>	<p>Descrever evidências sobre a exposição humana a microplásticos por meio de frutos do mar e discutir possíveis efeitos à saúde.</p>	<p>Revisão da literatura</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>Mariscos e outros organismos marinhos consumidos representam uma preocupação particular porque acumulam e retêm microplásticos. A toxicidade associada ao consumo de microplásticos depende do tamanho, dos produtos químicos associados e da dose.</p>

<p>Menéndez- Pedriza A, <i>et al.</i> (7), 2021, Espanha Periódico: Journal of Hazardous- Materials FI: 14.224</p>	<p>Determinar possíveis efeitos sinérgicos ou antagônicos entre bifenil policlorado (PCBs) e MPs para fornecer uma visão toxicológica do efeito “Cavalo de Tróia”</p>	<p>Estudo analítico experimental</p>	<p>Não informado</p>	<p>A aplicação da lipidômica combinada com outras abordagens ômicas parece compreender plenamente a relevância dos MPs como vetores de poluentes perigosos em ambientes marinhos e seus efeitos tóxicos induzidos tanto em organismos aquáticos quanto em humanos.</p>
<p>Banerjee A, <i>et al.</i> (8), 2021, Estados Unidos Periódico: PLOS ONE FI:3.24</p>	<p>Avaliar a captação e/ou toxicidade do poliestireno MP/NP em células gástricas humanas.</p>	<p>Estudo analítico experimental com comparação de doses, tamanhos de partículas e funcionalização da superfície.</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>O estudo demonstra que partículas de pequeno tamanho (50 nm) são mais prejudiciais às células gástricas em</p>

				<p>comparação a de maior tamanho. Partículas com cargas positivas em sua superfície levam a uma toxicidade mais aguda em comparação com as de cargas negativas. Entre os parâmetros avaliados, o tamanho das partículas parece desempenhar o papel mais crítico em influenciar a toxicidade.</p>	2363
<p>Kik KA, <i>et al.</i> ⁽⁹⁾, 2021, Polônia Periódico: International Journal of Molecular Sciences FI: 6.208</p>	<p>Avaliar o efeito de nanopartículas de poliestireno (PS-NPs) de vários diâmetros em parâmetros selecionados de estresse oxidativo e a viabilidade de células mononucleares de sangue periférico humano (PBMCs) <i>in vitro</i>.</p>	<p>Analítico Experimental</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>A toxicidade e as propriedades oxidativas dos PS-NPs examinados dependem significativamente de seu diâmetro.</p>	
<p>Campanale C, <i>et al.</i> ⁽¹⁰⁾, 2020,</p>	<p>Enfatizar as substâncias químicas</p>	<p>Revisão da literatura</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>Não há estudos suficientes</p>	

<p>Itália</p> <p>Periódico: International of Journal Environmental Research and Public Health FI: 4.614</p>	<p>mais tóxicas e perigosas que estão contidas em todos os produtos plásticos para descrever os efeitos e implicações desses produtos químicos perigosos na saúde humana.</p>			<p>para explicar completament e as fontes primárias de poluentes presentes nos MPs e se sua origem é extrínseca ao ambiente circundante, intrínseca do próprio plástico ou, provavelmente , de uma combinação de ambos.</p>
<p>Annkatrin W, <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾, 2022, País: Alemanha Periódico: Environment International FI: 13.352</p>	<p>Investigar se a exposição a nanoplásticos (NPs) induz processos inflamatórios em monócitos humanos e células dendríticas derivadas de monócitos.</p>	<p>Estudo analítico experimental com células <i>in vitro</i>.</p>	<p>Os autores referem que seu estudo possuem uma série de limitações que não são incomuns para o campo emergente da toxicologia da NP e fornecem subsídios para estudos futuros.</p>	<p>O NP pode desencadear respostas inflamatórias em células imunes humanas. Devi do à falta de conhecimento sobre a real exposição humana ao NP, é, no entanto, impossível determinar se as concentrações de NP que são usadas refletem adequadament</p>

				e os níveis internos, limitando a capacidade de extrapolar do in vitro para o in vivo.
Huajing Z, <i>et al.</i> ⁽¹²⁾ , 2022, País: China Períodico: Environment International FI: 13.352	Fornecer informações sobre a toxicidade do nano-PET em concentrações ambientais nas células pulmonares humanas.	Estudo analítico	Não foi informado	O mecanismo do efeito tóxico do nano-PET nas células se dá pelo aumento do nível de espécies reativas de oxigênio causado pelo estresse oxidativo, que por sua vez induz a uma diminuição do potencial de membrana mitocondrial. Como nenhum apoptose celular foi observada, o nano-PET em concentrações ambientais parece não ter causado sérios desfechos de toxicidade no sistema respiratório.
Blackburn K. <i>et al.</i> ⁽¹³⁾ , 2022, País: Reino Unido Períodico: Ambio A Journal of Environment and Society FI: 7.194	Resumir as últimas descobertas relacionadas à prevalência de microplásticos no ambiente humano.	Revisão da literatura	Não foi informado	Mais pesquisas são necessárias para explorar as implicações potenciais deste contaminante recente em nosso ambiente em estudos

				clínicos mais rigorosos.
Kannan K, <i>et al.</i> ⁽¹⁴⁾ , 2021, País: Estados Unidos Periódico: Front Endocrinol (Lausanne) FI: 6.055	Avaliar as fontes, vias e potenciais efeitos à saúde de MPs em humanos.	Revisão da literatura	Não foi informado	MPs e vários aditivos associados aos seus componentes plásticos são compostos obesogênicos. Mais pesquisas são necessárias para desvendar os mecanismos envolvidos e os meios potenciais para mitigar esses efeitos. Como os MPs e seus aditivos podem ter efeitos multigeracionais ou transgeracionais, esforços adicionais para elucidar seu modo de toxicidade e mitigação de exposições devem ser uma meta urgente de saúde pública.
D'Angelo S <i>et al.</i> ⁽¹⁵⁾ , 2021, País: Itália	Resumir o principal risco ecotoxicológico	Revisão da literatura	Não foi informado	A espermatogênese é altamente

<p>Periódico: International Journal of Environmental Research and Public Health</p> <p>FI: 4.614</p>	<p>e sanitário de MPs em mamíferos.</p>			<p>sensível a poluentes ambientais e a qualidade do esperma é afetada pela exposição a MPs, pelo menos em modelos animais.</p>
<p>González- Acedo A, <i>et al.</i> (16), 2021, País: Espanha Periódico: Chemosphere FI: 8.943</p>	<p>Fornecer uma atualização sobre os potenciais efeitos à saúde de MPs e NPs indicados por estudos <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>.</p>	<p>Revisão da literatura</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>Estudos <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> demonstraram o potencial tóxico de MPs e NPs em diversas linhagens celulares e espécies, indicando que a presença de partículas plásticas no ambiente pode representar uma ameaça à saúde humana. As evidências permanecem limitadas, e mais pesquisas são necessárias para elucidar a influência na toxicidade do tamanho e quantidade de</p>

				partículas e determinar os efeitos na saúde humana da exposição a MPs e NPs em níveis comumente observados em nosso ecossistema.
Zhang C, <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾ , 2022, País: China Periódico: American Journal of Men's Health FI: 2.403	Revisar a literatura relevante de pesquisa experimental em animais nos últimos anos. Calcular a dose mínima equivalente humana de MPs que leva à qualidade anormal do sêmen.	Revisão da literatura	Falta de estudos sobre como os MPs podem afetar o sistema reprodutivo humano.	Foram propostas as seguintes recomendações para pesquisas futuras: (1) Estudos experimentais em animais devem ser conduzidos para observar os efeitos da exposição crônica ao MP de baixa dose no sistema reprodutor masculino; (2) Estudos devem ser realizados sobre a exposição ao MP no corpo humano, especialmente em crianças pequenas, para

				<p>esclarecer a exposição ao MP de homens em diferentes regiões, incluindo a observação dos efeitos no sêmen, sangue, fezes e urina, e para esclarecer a relação entre exposição de MP e parâmetros do sêmen; (3) São necessárias mais pesquisas sobre os mecanismos subjacentes à deposição e eliminação de MPs no corpo humano; (4) Possíveis vias de ingestão de MP, incluindo ar, água e alimentos, devem ser monitoradas.</p>
<p>Florance I, <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾, 2022, País: Índia Periódico: Ecotoxicology and</p>	<p>Avaliar o impacto tóxico de nanoplasticos de poliestireno modificados com sulfato (S-NPs) em macrófagos murinos</p>	<p>Analítico experimental</p>	<p>Não foi informado</p>	<p>A exposição a nanoplasticos de poliestireno estabilizados com surfactantes aniônicos pode</p>

Environmental Safety FI: 7.129	e humanos na desregulação do metabolismo lipídico e homeostase.			ser um potente estímulo para a desregulação do metabolismo lipídico e formação de células espumosas de macrófagos.
Bredeck G , <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾ , 2022, País: Itália Periódico: Environment International FI: 13.352	Analisar a adequação de modelos <i>in vitro</i> para avaliar a interação de MNPs com células intestinais.	Revisão Sistemática	Não foi informado	O impacto dos microplásticos acumulados ainda não está claro, mas o material pode ser uma fonte de produtos químicos perigosos que liberam substâncias biologicamente ativas nos tecidos ao longo do tempo.

2370

DISCUSSÃO

A toxicidade associada à ingestão de microplásticos provavelmente depende do tamanho, dos produtos químicos associados a estes e da quantidade absorvida. O entendimento coletivo é limitado em relação às fontes, destino, exposição, biodisponibilidade e toxicidade dos microplásticos e seus produtos químicos, seja nos ambientes marinho, terreno e ou aéreo (micropartículas suspensas).^(3,5,6, 8,9, 11,16)

No estudo de Leslie HA *et al.*, 2018⁽²⁾ , a média da soma quantificável da concentração de partículas de plástico no sangue foi de 1,6 µg/ml, mostrando uma primeira medição da concentração em massa do componente polimérico do plástico no

sangue humano. As partículas de plástico são biodisponíveis para absorção na corrente sanguínea humana, mas ainda é necessária uma compreensão da exposição dessas substâncias em humanos e o risco associado a tal para determinar se as partículas de plástico são ou não preocupantes para a saúde pública.

O mecanismo do efeito tóxico do nano-PET nas células pode ser devido ao aumento do nível de espécies reativas de oxigênio causado pelo estresse oxidativo, que por sua vez, induz a uma diminuição do potencial de membrana mitocondrial.^(4, 9, 12, 19) No estudo de Kik KA, *et al.*, 2021⁽⁹⁾, as células que foram incubadas com PS-NPs por 24h na faixa de concentração de 0,001 a 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ formaram espécies reativas de oxigênio (EROs), tal qual o radical hidroxila, que são capazes de causarem oxidação de proteínas e lipídios, alterando viabilidade celular. Dessa forma, os PS-NPs perturbam o equilíbrio redox em PBMCs, visto eles aumentarem os níveis de EROs e induzirem a oxidação de lipídios e proteínas, onde nanopartículas testadas induziram uma diminuição na viabilidade de PBMCs.

A exposição de animais de laboratório ou culturas de células a MPs resulta em inflamação, citotoxicidade (por exemplo, estresse oxidativo, lesão celular, inviabilidade celular, função de membrana alterada).^(7,14) Verificou-se que o estresse oxidativo é o principal mecanismo de toxicidade reprodutiva induzida por MPs. O principal meio de estresse oxidativo induzido por MPs pode ser devido a interferência na transferência de elétrons de mediadores intracelulares, causando a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e destruição da função redox.^(13,15, 17)

No entanto, Domenech J, *et al.*, 2021⁽¹⁾, afirmam em seu estudo que nenhum estresse oxidativo decorrente à exposição aos nanoplásticos foi observado. Em vez disso, as amostras expostas mostraram níveis semelhantes de EROs aos controles após a exposição de curto e longo prazo, indicando que MPs puros não causaram aumento nos níveis de estresse oxidativo das células expostas.

A presença de nanoplásticos de poliestireno estabilizados com surfactantes aniônicos, em formulações comuns usadas em cosméticos e PCPs, podem perturbar a homeostase lipídica e levar à formação de células macrófagicas espumosas, uma característica observada na patologia da aterosclerose.⁽¹⁸⁾

Apenas microplásticos menores que 20 μm podem ser capazes de penetrar nos órgãos, e aqueles com tamanho de cerca de 10 μm são capazes de atravessar membranas

celulares, atravessar a barreira hematoencefálica e entrar na placenta, assumindo uma distribuição de partículas em tecidos secundários, como fígado, músculos e cérebro. ⁽¹⁰⁾

Embora haja informações limitadas sobre o número de partículas que atingem o cérebro e a potencial neurotoxicidade dessas pequenas partículas de plástico, sabe-se que nanopartículas de metal e óxido de metal, como ouro (Au) e dióxido de titânio (TiO₂), também podem atingir o cérebro para exercer uma série de efeitos neurotóxicos. Sendo assim, a semelhança entre essas nanopartículas de metal (óxido) quimicamente inerte e partículas de plástico indicam que podem ocorrer neurotoxicidade pelos mesmos mecanismos. Os dados combinados, embora fragmentados, indicam que a exposição a micro e nanoplásticos podem induzir estresse oxidativo, resultando em dano celular e aumento da vulnerabilidade ao desenvolvimento de distúrbios neuronais. Além disso, a exposição a micro e nanoplásticos pode resultar na inibição da atividade da acetilcolinesterase e na alteração dos níveis de neurotransmissores, o que podem contribuir para mudanças neurocomportamentais.⁽⁴⁾

Devido à ingestão de alimentos contaminados, o trato gastrointestinal humano é o local mais provável de exposição a microplásticos (MPs), levando à inflamação e disfunção da barreira intestinal. A via predominante para a captação de MPs nos intestinos é através do tecido linfático associado a estes (GALT – Tecido linfoide associado ao intestino), especificamente as células microfold (M) das placas de Peyer. Em uma observação microscópica, foi destacada uma permeabilização da membrana lisossomal mais pronunciada em uma linhagem celular intestinal humana (HT29) expostos a poliestireno (PS) de 3µm. A produção de espécies reativas de oxigênio foi maior nas células expostas ao PS de 10 µm, mas a exposição subcrônica destacou a capacidade das células de neutralizar parcialmente esse efeito. Foi confirmado em ensaio que o dano oxidativo temporário foi induzido por PS. No geral, considerando o *turnover* muito rápido das células intestinais, o aumento da mortalidade celular, igual a 25% e 11% para PS-MPs de 3 e 10 µm para cada ponto de tempo, poderia desencadear distúrbios intestinais devido à exposição prolongada.^(5,19)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que existe uma crescente de derivados de resíduos plásticos, como MNPLs, no ambiente natural e são necessários esforços substanciais para avaliar seu

perigo potencial e riscos associados para os seres humanos. O conhecimento de tais características é relevante para estratégias de mitigação de riscos, ações regulatórias, mas também de alta relevância para a concepção de novos materiais alternativos aos plásticos atualmente utilizados.

Considerando a totalidade dos resultados de pesquisas sobre microplásticos até o momento, sabe-se que o consumo de organismos marinhos contaminados com essas micropartículas representa uma preocupação particular, devido à retenção e acúmulo dessas partículas. Além da ingestão através desses alimentos contaminados, também há exposição pela inalação ou por contato com a pele. Após a sua ingestão, seu destino e efeitos ainda são controversos e pouco conhecidos.

Os efeitos podem ocorrer devido às suas propriedades físico-químicas ou de concentração, contudo, não há informações suficientes disponíveis para entender completamente as implicações dos microplásticos na saúde humana. Infelizmente, o número de estudos de biomonitoramento ou estudos envolvendo modelos *in vivo* é escasso, e a maioria da literatura se concentra em modelos experimentais de linhagens celulares *in vitro* para avaliar o risco potencial à nanoplasticos.

Explicar se as fontes primárias de poluentes presentes nos microplásticos e se sua origem é extrínseca ao ambiente circundante, intrínseca ao próprio plástico ou, mais provavelmente, de uma combinação de ambos e de um e processo dinâmico de absorção e desorção relacionado com a dispersão das partículas no ambiente e a sua consequente exposição ao intemperismo ainda é um desafio. Sendo assim, outros estudos são necessários para ampliação desse entendimento.

REFERÊNCIAS

1. Domenech J, de Britto M, Velázquez A, Pastor S, Hernández A, Marcos R, Cortés C. Long-Term Effects of Polystyrene Nanoplastics in Human Intestinal Caco-2 Cells. *Biomolecules*. 2021 Oct 1;11(10):1442. doi: 10.3390/biom11101442. PMID: 34680075; PMCID: PMC8533059.
2. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-Vallejo JJ, Lamoree MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int*. 2022 May;163:107199. doi: 10.1016/j.envint.2022.107199. Epub 2022 Mar 24. PMID: 35367073.
3. Zarus GM, Muianga C, Hunter CM, Pappas RS. A review of data for quantifying human exposures to micro and nanoplastics and potential health risks. *Sci Total*

Environ. 2021 Feb 20;756:144010. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144010. Epub 2020 Nov 24. PMID: 33310215; PMCID: PMC7775266.

4. Prüst M, Meijer J, Westerink RHS. The plastic brain: neurotoxicity of micro- and nanoplastics. Part Fibre Toxicol. 2020 Jun 8;17(1):24. doi: 10.1186/s12989-020-00358-y. PMID: 32513186; PMCID: PMC7282048.

5. Visalli G, Facciola A, Pruiti Ciarello M, De Marco G, Maisano M, Di Pietro A. Acute and Sub-Chronic Effects of Microplastics (3 and 10 μm) on the Human Intestinal Cells HT-29. Int J Environ Res Public Health. 2021 May 28;18(11):5833. doi: 10.3390/ijerph18115833. PMID: 34071645; PMCID: PMC8198674.

6. Smith M, Love DC, Rochman CM, Neff RA. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. Curr Environ Health Rep. 2018 Sep;5(3):375-386. doi: 10.1007/s40572-018-0206-z. PMID: 30116998; PMCID: PMC6132564.

7. Menéndez-Pedriz A, Jaumot J, Bedia C. Lipidomic analysis of single and combined effects of polyethylene microplastics and polychlorinated biphenyls on human hepatoma cells. J Hazard Mater. 2022 Jan 5;421:126777. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126777. Epub 2021 Jul 30. PMID: 34364209.

8. Banerjee A, Billey LO, Shelver WL. Uptake and toxicity of polystyrene micro/nanoplastics in gastric cells: Effects of particle size and surface functionalization. PLoS One. 2021 Dec 31;16(12):e0260803. doi: 10.1371/journal.pone.0260803. PMID: 34971556; PMCID: PMC8719689.

9. Kik K, Bukowska B, Krokosz A, Sicińska P. Oxidative Properties of Polystyrene Nanoparticles with Different Diameters in Human Peripheral Blood Mononuclear Cells (In Vitro Study). Int J Mol Sci. 2021 Apr 23;22(9):4406. doi: 10.3390/ijms22094406. PMID: 33922469; PMCID: PMC8122768.

10. Campanale C, Massarelli C, Savino I, Locaputo V, Uricchio VF. A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. Int J Environ Res Public Health. 2020 Feb 13;17(4):1212. doi: 10.3390/ijerph17041212. PMID: 32069998; PMCID: PMC7068600.

11. Annkatrin Weber, Anja Schwiebs, Helene Solhaug, Jørgen Stenvik, Asbjørn M. Nilsen, Martin Wagner, Borja Relja, Heinfried H. Radeke, Nanoplastics affect the inflammatory cytokine release by primary human monocytes and dendritic cells, Environment International, Volume 163, 2022, 107173, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107173>.

12. Huajing Zhang, Shuyi Zhang, Zhenghua Duan, Lei Wang, Pulmonary toxicology assessment of polyethylene terephthalate nanoplastic particles in vitro, Environment International, Volume 162, 2022, 107177, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107177>.

13. Blackburn, K., Green, D. The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. *Ambio* 51, 518–530 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>

14. Kannan K, Vimalkumar K. A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021 Aug 18;12:724989. doi: 10.3389/fendo.2021.724989. PMID: 34484127; PMCID: PMC8416353.
15. D'Angelo, S.; Meccariello, R. Microplastics: A Threat for Male Fertility. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 2392. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052392>
16. Anabel González-Acedo, Enrique García-Recio, Rebeca Illescas-Montes, Javier Ramos-Torrecillas, Lucía Melguizo-Rodríguez, Víctor Javier Costela-Ruiz, Evidence from in vitro and in vivo studies on the potential health repercussions of micro- and nanoplastics, *Chemosphere*, Volume 280,2021,130826, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130826>.
17. Zhang C, Chen J, Ma S, Sun Z, Wang Z. Microplastics May Be a Significant Cause of Male Infertility. *Am J Mens Health*. 2022 May-Jun;16(3):15579883221096549. doi: 10.1177/15579883221096549. PMID: 35608037; PMCID: PMC9134445.
18. Florance I, Chandrasekaran N, Gopinath PM, Mukherjee A. Exposure to polystyrene nanoplastics impairs lipid metabolism in human and murine macrophages in vitro. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2022 Jun 15;238:113612. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.113612. Epub 2022 May 10. PMID: 35561548.
19. Bredeck G, Halamoda-Kenzaoui B, Bogni A, Lipsa D, Bremer-Hoffmann S. Tiered testing of micro- and nanoplastics using intestinal in vitro models to support hazard assessments. *Environ Int*. 2022 Jan;158:106921. doi: 10.1016/j.envint.2021.106921. Epub 2021 Oct 8. PMID: 34634620.