

**FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA DE MOSSORÓ
CURSO DE BACHAREL EM FARMÁCIA**

**LUCAS GABRIEL MONTEIRO MARQUES
MATHEUS GABRIEL DE PAIVA SILVA**

**IMPLICAÇÕES CARDIOVASCULARES CAUSADAS POR MICROPLÁSTICOS:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

**MOSSORÓ
2024**

**LUCAS GABRIEL MONTEIRO MARQUES
MATHEUS GABRIEL DE PAIVA SILVA**

**IMPLICAÇÕES CARDIOVASCULARES CAUSADAS POR MICROPLÁSTICOS:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Artigo Científico apresentado à Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró (FACENE/RN), como requisito obrigatório, para obtenção do título de Bacharel em Farmácia.

Orientador(a): Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva.

MOSSORÓ
2024

Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró/RN – FACENE/RN.
Catalogação da Publicação na Fonte. FACENE/RN – Biblioteca Sant’Ana.

M357i Marques, Lucas Gabriel Monteiro.

Implicações cardiovasculares causadas por microplásticos: uma
revisão integrativa. / Lucas Gabriel Monteiro Marques; Matheus
Gabriel de Paiva Silva. – Mossoró, 2024.

32 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Antônio Alex de Lima Silva.

Artigo Científico (Graduação em Farmácia) – Faculdade de
Enfermagem Nova Esperança de Mossoró.

1. Toxicidade. 2. Exposição a Microplásticos. 3. Efeitos
Cardiovasculares. 4. Riscos à Saúde. I. Silva, Matheus Gabriel de
Paiva. II. Silva, Antônio Alex de Lima. III. Título.

CDU 615

**LUCAS GABRIEL MONTEIRO MARQUES
MATHEUS GABRIEL DE PAIVA SILVA**

**IMPLICAÇÕES CARDIOVASCULARES CAUSADAS POR MICROPLÁSTICOS:
UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Artigo Científico de Enfermagem Nova
Esperança de Mossoró (FACENE/RN), como
requisito obrigatório, para obtenção do título de
Bacharel em Farmácia.

Orientador: Prof. Me. Antônio Alex de Lima
Silva.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Antônio Alex De Lima Silva – Orientador
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

Prof. Dr. Bruno Amorim Do Carmo – Avaliador(a)
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

Profa. Ma. Lidianne Pinto De Mendonça Ferreira – Avaliador(a)
Faculdade de Enfermagem Nova Esperança de Mossoró

CARDIOVASCULAR IMPLICATIONS CAUSED BY MICROPLASTICS: AN INTEGRATIVE REVIEW

**LUCAS GABRIEL MONTEIRO MARQUES
MATHEUS GABRIEL DE PAIVA SILVA**

RESUMO

Os plásticos revolucionaram a vida moderna desde o início do século XIX, transformando a indústria e o cotidiano com sua versatilidade e baixo custo de produção, o que os tornou indispensáveis em inúmeras aplicações. Entretanto, seu impacto no meio ambiente tem se mostrado alarmante, levando ao surgimento de um novo problema: os microplásticos. Materiais que podem afetar a saúde, incluindo o sistema cardiovascular. Neste sentido objetivo desse artigo foi elucidar as implicações cardiovasculares causadas por estes microplásticos. Visando este objetivo, foi feita uma revisão bibliográfica de método integrativo. A revisão foi realizada como artigos em português e inglês, no espaço temporal de janeiro de 2013 a setembro de 2024, atendendo assim o estudo para o tema em questão. Excluindo aqueles que: não atendiam as especificidades do tema, foram publicados fora do período de tempo citado, linguagens além do português e do inglês e artigos de revisão. Os artigos foram coletados nas bases de dados PubMed e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), por meio de procedimentos técnicos de busca e análise de informações. A escolha metodológica da revisão integrativa permitiu uma análise abrangente e aprofundada das implicações cardiovasculares associadas à exposição aos microplásticos, sintetizando as evidências disponíveis e possibilitando a discussão de seus mecanismos. Evidências mostram que esses materiais plásticos minúsculos podem se acumular em tecidos cardíacos, impactando diretamente a saúde cardiovascular. Evidências científicas indicam que essas partículas podem induzir senescência prematura das células coronarianas, bem como desencadear processos inflamatórios e oxidativos. Essas micropartículas de plásticos também podem ativar vias moleculares, como a JAK1/STAT3/TF, que promovem a inflamação e disfunção celular, devido à ativação de vias inflamatórias específicas, como a Wnt/ β -catenina. Contribuindo ainda mais para um ambiente pró-trombótico e pró-inflamatório, aumentando o risco de doenças cardiovasculares. Pesquisas já apontam que órgãos humanos já apresentam a presença destes materiais plásticos em escala micrométrica em tecidos importantes do coração como o do apêndice atrial esquerdo e no tecido adiposo epicárdico. Tais evidências deixam claro de que com o crescente aumento da produção destes materiais será questão de tempo até que uma série de casos relacionados a este tema surjam, aumentando o risco de doenças cardiovasculares. Diante desse cenário, a pesquisa reforça a importância de estratégias de mitigação, que envolvem tanto a conscientização pública quanto o desenvolvimento de políticas de controle sobre o uso e descarte de plásticos. Essas iniciativas são essenciais para reduzir a exposição humana aos microplásticos e, conseqüentemente, mitigar seus impactos negativos na saúde cardiovascular.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicidade, Exposição a microplásticos, Efeitos cardiovasculares, Riscos à saúde

ABSTRACT

Plastics have revolutionized modern life since the early 19th century, transforming industries and daily life due to their versatility and low production costs, making them indispensable in numerous applications. However, their environmental impact has become increasingly alarming, giving rise to a new concern: microplastics. These materials have the potential to affect human health, including the cardiovascular system. This study aimed to elucidate the cardiovascular implications associated with microplastic exposure. To achieve this goal, an integrative bibliographic review was conducted. The review included articles in Portuguese and English published between January 2013 and September 2024, focusing on studies relevant to the topic. Exclusion criteria comprised articles that did not address the specific theme, were published outside the defined timeframe, were written in languages other than Portuguese or English, or were classified as review articles. Articles were sourced from the PubMed and Virtual Health Library (VHL) databases using systematic search and information analysis techniques. The integrative review methodology facilitated a comprehensive and in-depth analysis of the cardiovascular implications of microplastic exposure, synthesizing existing evidence and enabling discussion of underlying mechanisms. Evidence demonstrates that these tiny plastic particles can accumulate in cardiac tissues, directly impacting cardiovascular health. Scientific studies suggest that these particles may induce premature senescence in coronary cells and trigger inflammatory and oxidative processes. Furthermore, microplastic particles can activate molecular pathways such as JAK1/STAT3/TF, promoting inflammation and cellular dysfunction through the activation of specific inflammatory pathways like Wnt/ β -catenin. These processes contribute to a pro-thrombotic and pro-inflammatory environment, increasing the risk of cardiovascular diseases. Emerging research has identified microplastics in human cardiac tissues, including the left atrial appendage and epicardial adipose tissue. These findings highlight that, with the continuous rise in plastic production, it is only a matter of time before a surge in cardiovascular cases linked to microplastic exposure is observed, further elevating disease risks. In this context, the study emphasizes the critical importance of mitigation strategies, including public awareness campaigns and the development of policies regulating the use and disposal of plastics. These initiatives are essential for reducing human exposure to microplastics and mitigating their adverse effects on cardiovascular health.

KEYWORDS: Toxicity, Exposure to microplastics, Cardiovascular effects, Health risks.

1 INTRODUÇÃO

As partículas de plásticos dispersas no meio ambiente, são um dos principais contaminantes das áreas às quais os seres humanos são dependentes.⁷ A maior parte dos plásticos usados são descartados pelos consumidores após uma única utilização e de forma inadequada, o que se torna um enorme problema ambiental, pois acabam em aterros, oceanos e outros cursos de água.⁸

Com o aumento da população, mostra-se evidente uma maior disseminação de plástico, consequentemente dos MP's no meio ambiente.⁹ Essa disseminação descontrolada dos plásticos no meio ambiente, podem causar danos generalizados à medida que se propagam nas águas de rios e mares, trazendo danos irreversíveis à medida que os MP's são expostos a vidas marinhas, que de forma indireta chegam até os seres humanos.

Estudos recentes apontam que pacientes com calcificação vascular apresentaram maiores níveis de MPs totais.¹⁰ Já existem evidências crescentes de que os microplásticos podem penetrar em tecidos humanos, podendo causar inflamação e outros problemas de saúde a longo prazo, não só isto mas os lipopolissacarídeo (LPS) presente nas paredes celulares de bactérias gram-negativas entram na circulação sistêmica e estimulam a produção de várias citocinas pró-inflamatórias, incluindo o fator de necrose tumoral-isf (TNF-is), interleucina (IL)-6 e IL-1-is. Além disso, LPS desencadeia uma resposta inflamatória prolongada.¹⁰

Os plásticos são materiais sintéticos produzidos a partir de polímeros derivados de substâncias petroquímicas. Embora tenham trazido inúmeros benefícios à sociedade moderna, sua produção, utilização e descarte desenfreados criaram uma série de problemas ambientais e de saúde. Com o aumento da produção mundial de plásticos, dados mostram que entre 1950 e 2015 aproximadamente 9% dos detritos plásticos foram reciclados, 12% foram incinerados e cerca de 79% do plástico foi recolhido em aterros.¹

A ausência de sistemas eficazes para gerenciar resíduos após o consumo leva ao descarte inadequado e à sua presença em ambientes terrestres e aquáticos, acarretando uma série de danos ambientais e impactando negativamente a saúde humana. Após serem descartados, é crucial considerar alternativas adequadas de destinação, como reutilização, diminuição do volume, reciclagem, incineração e, como último recurso, o depósito em aterros sanitários.² Atualmente as taxas de reciclagem de plástico são calculadas em 30%, 25% e 9% na Europa, China e Estados Unidos, respectivamente; no entanto, mais de 150 milhões de toneladas, ou cerca de metade da produção mundial de plástico sólido, são descartadas anualmente. Esta estimativa corrobora com outras estatísticas que dizem que aproximadamente 50% dos plásticos são descartados após um único uso.³

Um dos mais preocupantes problemas é a formação de microplásticos, que são partículas de plástico com menos de 5 milímetros de tamanho.⁴ Estudos indicam que essas partículas são encontradas em abundância em oceanos, rios, solos e até mesmo no ar que se respira. Sua presença é prejudicial, pois essas pequenas partículas podem ser ingeridas por organismos marinhos e terrestres, entrando na cadeia alimentar e chegando até os seres humanos, enfatizando a afirmação apresentada por Bonnano e Orlando-bonaca⁵, que o plástico está em andamento.

Os microplásticos têm sido detectados em diversos alimentos, incluindo frutos do mar, água potável e até mesmo no sal de cozinha.⁶ Essas partículas podem causar danos à saúde, interferindo no sistema digestivo, cardiológico e imunológico.

Um dos sistemas mais afetados pelos impactos dos microplásticos é o cardiovascular, pois a exposição a essas partículas está associada a um maior risco de desenvolvimento de doenças cardíacas. Além disso, essas moléculas são capazes de entrar na circulação a partir do sistema pulmonar, onde já foi relatando que em camundongos e humanos, sua absorvidade está aliada à maior área superficial de partículas menores contribuindo para esses efeitos pró-trombóticos e pró-inflamatórios.⁴

Em suma, a disseminação descontrolada de plásticos, especialmente na forma de microplásticos, representa uma séria ameaça ao meio ambiente e à saúde humana, exigindo ação imediata e coordenada para reduzir sua produção, promover o descarte responsável e desenvolver alternativas sustentáveis.

Tendo em vista que, os plásticos por serem materiais versáteis, leves, impermeáveis e de alta durabilidade.¹¹ Em todo o mundo, o seu uso tem aumentado, evidenciando com números que a sua produção excedeu 368 milhões de toneladas em 2019, com tendência a aumentar ainda mais para a década seguinte.⁸ Pois como se sabe, os plásticos são amplamente empregados em todos os setores da sociedade, mas que infelizmente, tem causado sérios problemas relacionados ao seu gerenciamento, visto que, o descarte inadequado faz com que estes materiais sejam considerados contaminantes onipresentes no ambiente de forma geral.¹¹

Como se sabe, com o tempo as partículas de plástico dispersas no meio ambiente, são degradadas em minúsculas partículas, formando os chamados microplásticos.¹² De acordo com estudos, esses MP's formados afetam de forma direta as funções cardíacas, causando assim uma toxicidade em locais vasculares a longo prazo. Já no que se refere a toxicidade cardíaca, inclui-se frequência cardíaca descompensada, comprometimento da função, edema pericárdico e fibrose miocárdica.¹²

Embora os impactos ambientais dos microplásticos tenham sido extensivamente estudados, suas potenciais implicações para a saúde humana, especialmente no que diz respeito ao sistema cardiovascular, ainda são pouco compreendidas.¹² Com isso, se faz necessário que as futuras direções da investigação cardiovascular sobre MP's permitam uma avaliação mais realista dos riscos para a saúde.

Sendo assim esse trabalho tem como objetivo analisar por meio de uma revisão integrativa os danos causados por microplásticos no sistema cardiovascular.

2.1 PLÁSTICOS: CONCEITO, FORMAS DE USOS E DESCARTE

Os plásticos são feitos de materiais naturais que passaram por várias reações físicas e processos químicos. Dentre os processos realizados, a polimerização e a policondensação são os mais comuns em que os componentes centrais são completamente transformados em cadeias poliméricas.⁸

O plástico possui um amplo mercado, cujo maior é o de embalagens.¹ As embalagens por serem o maior mercado utilização plástica, automaticamente possuem um maior nível de descarte no meio ambiente, gerando assim um grande crescimento de restos de plásticos nas margens de rios, mares e até mesmo de ambientes terrestres. Nenhum dos plásticos comumente usados é biodegradável. Como resultado, eles se acumulam, ao invés de se decomporem, na maioria das vezes em aterros sanitários ou no ambiente natural.⁸ A única maneira de eliminar permanentemente os resíduos plásticos é por meio de tratamento térmico destrutivo, ou seja, com temperaturas acima dos 100°C, como combustão ou pirólise.¹

A produção mundial de resinas e fibras aumentou a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 8,4%, passando de 2 toneladas métricas (Mt) em 1950 para 380 Mt em 2015. Isso foi aproximadamente 2,5% vezes o CAGR do produto interno bruto global durante esse período em questão. De 1950 a 2015, foram fabricadas 7800 Mt de resinas e fibras. Apenas nos últimos 13 anos, a metade desse valor, 3900 toneladas, foi produzida. Atualmente, um dos grandes polos é a China que representa 68% da produção mundial de fibra PP & A e 28% da resina mundial.¹

A produção crescente de plástico tem causado um acúmulo maior desses materiais no meio ambiente. Devido a essa situação, não apenas temos que pensar nos efeitos visíveis dos maiores resíduos plásticos, mas também nos efeitos mais sutis e quase invisíveis: os microplásticos.

2.1.1 MICROPLÁSTICOS

No início da década de 1980, já havia discussão sobre o acúmulo de inúmeros grânulos de plásticos microscópicos no ambiente. No entanto, só em 2004 Thompson e sua equipe propuseram no artigo “Lost at sea: where is all the plastic?” o termo “Microplastics” ou microplásticos.

Atualmente, a definição dada pela Agência Europeia dos Produtos Químicos (ECHA) define microplásticos como partículas plásticas sólidas formadas por misturas de polímeros e componentes funcionais, os microplásticos podem ser formados involuntariamente (por exemplo, por abrasão) ou deliberadamente (por exemplo, quando adicionados a produtos para obter certas propriedades). No que se refere ao tamanho dos microplásticos, podem variar de 0,1 mm a 5000 mm e os nanoplásticos de 1 nm a 100 nm, de acordo com a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA).¹⁴

Os microplásticos são gerados a partir de fontes primárias e secundárias.¹⁵ As fontes primárias são aquelas que deliberadamente criam microplásticos para uso em indústrias e para o consumo, como esfoliantes em produtos de limpeza, cosméticos e em partículas de liberação de fármacos em medicamentos.

Já fontes secundárias são os produtos macrolásticos que se desintegram em partículas menores e de tamanho micrométrico, podendo ocorrer tanto em ambiente terrestre quanto no meio aquático.¹⁶ Os processos de intemperismo natural decompõem os microplásticos secundários de partículas maiores. Fazendo com que ambos os tipos de microplásticos acumulem-se e sobrevivam aos naturais que ocorrem no meio ambiente.

2.1.1.1 IMPACTOS CAUSADOS PELOS MICROPLÁSTICOS NO MEIO AMBIENTE

Quando se refere a microplásticos, lembramos dos danos causados pelos mesmos no meio ambiente. Nas últimas décadas, a quantidade de resíduos plásticos liberados em ambientes marinhos aumentou rapidamente. Ao serem liberados no meio ambiente, a durabilidade dos materiais plásticos mostrou-se ser uma causa de sérios problemas.¹⁷

Dados mostram que mais de 80% dos microplásticos são produzidos em terra, sendo menos de 20% provenientes do mar, mostrando que a maioria dos plásticos que poluem o ambiente marinho provém de fontes terrestres, sendo elas: atividades de pesca e outras atividades aquícolas e do turismo costeiro.⁸ Com isso, estima-se que mais de 800 milhões de toneladas de plásticos no mar tenham sido de origem terrestre.¹⁸

Como se sabe, os microplásticos são partículas relativamente invisíveis a olho nu, evidenciando que os processos de tratamento de águas residuais não são capazes de filtrá-los, facilitando que essas partículas de plástico sejam introduzidas nos rios e oceanos, causando efeitos nocivos por conta do material plástico que libera vários compostos químicos perigosos e poluentes, prejudicando vidas marinhas que sofrem grandes danos devido à bioacumulação destes compostos.¹⁷

Assim, os microplásticos podem servir como transportadores de contaminantes orgânicos e inorgânicos como pesticidas e outros aditivos tóxicos, devido à sua grande capacidade de adsorção.¹⁹ Que podem causar respostas inflamatórias e até perturbar o metabolismo lipídico e energético.²⁰

2.1.1.2 IMPACTOS CAUSADOS PELOS MICROPLASTICOS NA SAÚDE HUMANA (GERAL)

No que se refere à saúde humana, à medida que os resíduos plásticos aumentam, a presença de micro e nanoplásticos na cadeia alimentar, cria um risco para a saúde humana.²¹ Embora seja um assunto relativamente novo, estudos já comprovaram a presença significativa de MPs no corpo humano como nas fezes, tecidos e até mesmo no leite materno.²² Em relação aos pontos de entrada dos MPs, estão a ingestão, inalação e o contato dérmico.²³ Dentre os pontos de exposição, os seres humanos são expostos aos MPs diretamente e indiretamente. As formas diretas de exposição são através da atmosfera, água potável e sal marinho ou indiretamente através da cadeia alimentar, sendo pela ingestão de alimentos.²²

Considerando a ingestão da via primária, em relação aos pontos de entrada dos MP's.²³ Estudos têm demonstrado que os microplásticos entram na cadeia alimentar de humanos de várias maneiras, dentre elas estão animais que os consomem em seu ambiente natural, através da contaminação durante os processos de produção de alimentos e através da lixiviação das embalagens plásticas dos alimentos e bebidas após a ingestão de alimentos e do ambiente contaminado, afirma-se que a ingestão desses fragmentos de plásticos podem alterar o comportamento alimentar e reprodutivo, bem como aumentar a mortalidade.²⁴

Os danos que os microplásticos causam em si já é problemático, mas devido ao seu pequeno tamanho e energia superficial, os microplásticos ainda podem absorver outros poluentes como metais pesados, produtos químicos e orgânicos servindo como transportadores para dentro de corpos humanos, aumentando assim a sua toxicidade.²⁴

Dentre os pontos de exposição relatados, a inalação é considerada a segunda principal via para a exposição aos MP's. Pois em ambientes onde seus interiores contêm partículas de

plástico transportadas pelo ar, ou seja, indústrias petroquímicas, conduzem à inalação involuntária ou à exposição ocupacional a essas micropartículas.²⁵ Já em ambientes abertos de exposição, pode acontecer de diversas maneiras, como através da respiração, inalação de aerossóis contaminados ou até mesmo de partículas de fertilizantes transportados pelo ar.²⁶ Essas partículas dentro da faixa de tamanhos micro e nano podem potencialmente ser incorporadas ao pulmão, chegando a permanecer na superfície alveolar ou até mesmo se translocar para outras partes do corpo humano.²⁵ Há uma série de fatores onde a absorção de partículas plásticas por inalação pode levar a danos pulmonares, afetando a absorção e expulsão de microplásticos e nanoplásticos nos pulmões, como hidrofobicidade, carga superficial, funcionalização da superfície e tamanho das partículas.²⁷

Um estudo investigou os potenciais efeitos gástricos da ingestão de MPs estimulando células epiteliais de adenocarcinoma gástrico humano com partículas de poliestireno de 40 nm e 100 nm e foi notado que principalmente nas partículas de 40 nm foram registradas uma expressão gênica inflamatória e diminuição da viabilidade celular.²⁸

Em outra pesquisa, expuseram camundongos à partículas de MPs de poliestireno de 1mg com um tamanho de aproximadamente 100 nm, por um período de 4 semanas, observaram seu acúmulo em vários órgãos, como o baço, fígado, pulmão e cérebro, ocorrendo inflamação, apoptose celular induzida e distúrbios estruturais.²⁹

2.1.1.2.1 SISTEMA CARDIOVASCULAR

Como foi visto, as partículas plásticas são expostas ao organismo por diferentes vias, ou seja, a ingestão, inalação ou o contato dérmico, tendo em vista que os microplásticos e nanoplásticos são transportados pela circulação. Portanto, entender como as células sanguíneas interagem com esses poluentes pode ter implicações significativas para os seres humanos.⁶

Uma análise detalhada da exposição a microplásticos e nanoplásticos usando a estrutura da Adverse Outcome Pathway (AOP), descobriu que 45% dos estudos que cobriram os nanoplásticos encontraram um aumento na ativação de vias de estresse oxidativo.³¹ Onde o estresse oxidativo é um mecanismo crucial para os efeitos de MP's e NP's. O estresse oxidativo é frequentemente medido indiretamente através da ativação de enzimas associadas e cascatas de sinalização ou aumentos na transcrição de genes associados. Os efeitos cardiovasculares resultantes do estresse oxidativo decorrente da poluição atmosférica devem-se, em parte, ao aumento das espécies reativas de oxigênio (EROs), que interagem com a sinalização do óxido nítrico que ocorre nas células endoteliais, convertendo-o em peroxinitrito citotóxico. Isso reduz

a biodisponibilidade do óxido nítrico no endotélio, e altas concentrações de peroxinitrito são citotóxicas, resultando em danos ao DNA, proteínas e lipídios nas células.³²

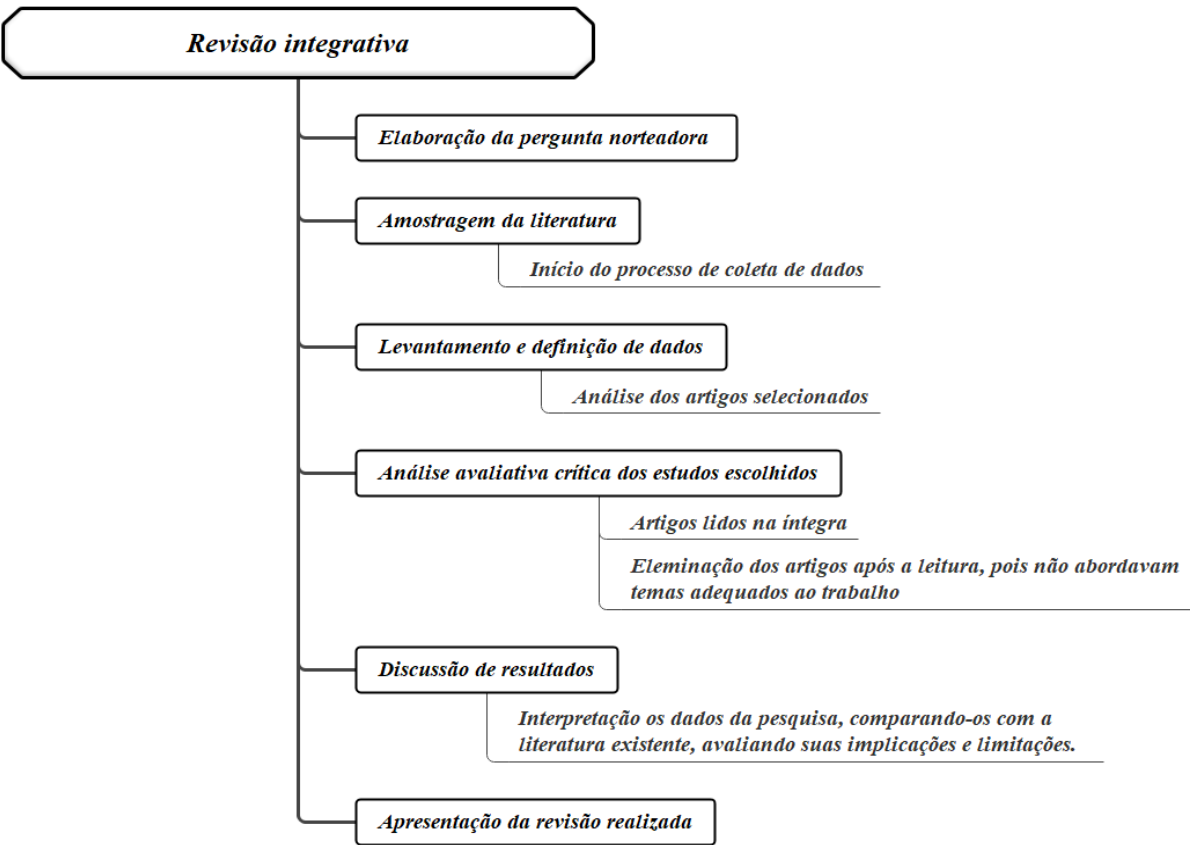
Um estudo também indicou que frequências cardíacas anormais, comprometimento da função cardíaca, edema pericárdico, fibrose miocárdica e outros danos podem ser causadas pela toxicidade dos MPs, concluindo que os MPs foram potenciais fatores de risco para arritmia, aterosclerose, infarto do miocárdio e outras doenças cardiovasculares.³³

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa em questão concentrou-se na realização de uma revisão bibliográfica de método integrativo, no qual foi realizada uma análise baseada em publicações recentes, voltadas para o estudo em questão: Uma revisão acerca das implicações cardiovasculares dos microplásticos.

Assim, a pesquisa foi desenvolvida como mostra a figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da revisão integrativa



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A construção do trabalho em questão, foi feita buscando responder de forma objetiva à pergunta proposta: Dada a crescente preocupação com a poluição por microplásticos e suas

possíveis consequências para a saúde humana, como a exposição a microplásticos pode afetar o sistema cardiovascular?

Realizada através da internet, com auxílio de procedimentos técnicos que consistem em uma busca e análise de informações nos atuais e principais bancos de dados disponíveis para a escolha de artigos. Aos quais foram utilizados National Library of Medicine (PUBMED) e a Biblioteca virtual em saúde (BVS). Já para a escolha de palavras-chaves foi de forma direta e relacionada com o tema em questão, utilizando-se: “Microplásticos” e “Cardiovascular system”.

QUADRO 1: Estratégia de busca.

BASES DE DADOS	ESTRATÉGIA DE BUSCA
PUBMED	Microplastics AND Cardiovascular system
MEDLINE	Microplastics AND Cardiovascular system

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Levando em conta os critérios de inclusão e exclusão. Para os de inclusão foram utilizados artigos publicados nas bases de dados citadas acima, na linguagem português e no inglês, no espaço temporal de janeiro de 2013 a setembro de 2024, atendendo assim o estudo para o tema em questão. Para os critérios de exclusão, foram estudos aos quais não atendam as especificidades do tema e dos descritores, publicações fora do período de tempo citado, linguagens além do português e do inglês, artigos de revisão, artigos incompletos, resumos recortados e artigos aos quais se repetem em mais de uma base de dados.

As bases de dados escolhidas foram utilizadas para coletar dados online. Inicialmente, a busca foi realizada individualmente usando os descritores. Após a realização de uma busca individual, os descritores de saúde foram cruzados por operadores booleanos “or”, “and” e “not”, que servem como palavras-chave para o sistema de busca filtrar os termos de pesquisa, tornando-a mais específica sobre o assunto em questão.

Após essa etapa, os critérios de inclusão e exclusão, usados para avaliar e analisar os trabalhos escolhidos para reduzir a quantidade amostral, incluindo assim os artigos fora do recorte temporal e que não atendem aos idiomas português e inglês. Após isso, os títulos e resumos foram lidos para encontrar informações relevantes para responder ao questionamento estabelecido para o desenvolvimento da pesquisa, eliminando os que não se mostrarem relevantes para a pesquisa.

Assim começando o processo da leitura aprofundada dos artigos restantes, eliminando assim os que não atenderam aos critérios de exclusão e ao tema do estudo, obtendo-se assim os artigos que foram realmente incluídos no trabalho.

As informações que foram coletadas dos artigos foram definidas. Para atingir este objetivo, foi necessário de dois instrumentos de coleta de dados.

O instrumento 1- contendo os títulos, autores, fonte, periódico e ano de publicação e o instrumento 2 – contendo os objetivos, metodologia adotada, principais resultados e categoria do estudo. Os artigos foram categorizados em grupos de acordo com seus temas que ajudaram na interpretação dos artigos, utilizando como demonstrado no quadro 1.

Foi realizada uma análise abrangente dos estudos selecionados, observando os elementos relevantes dos métodos utilizados, os resultados de cada método e se estes elementos estão relacionados ao tema proposto para facilitar a discussão dos resultados.

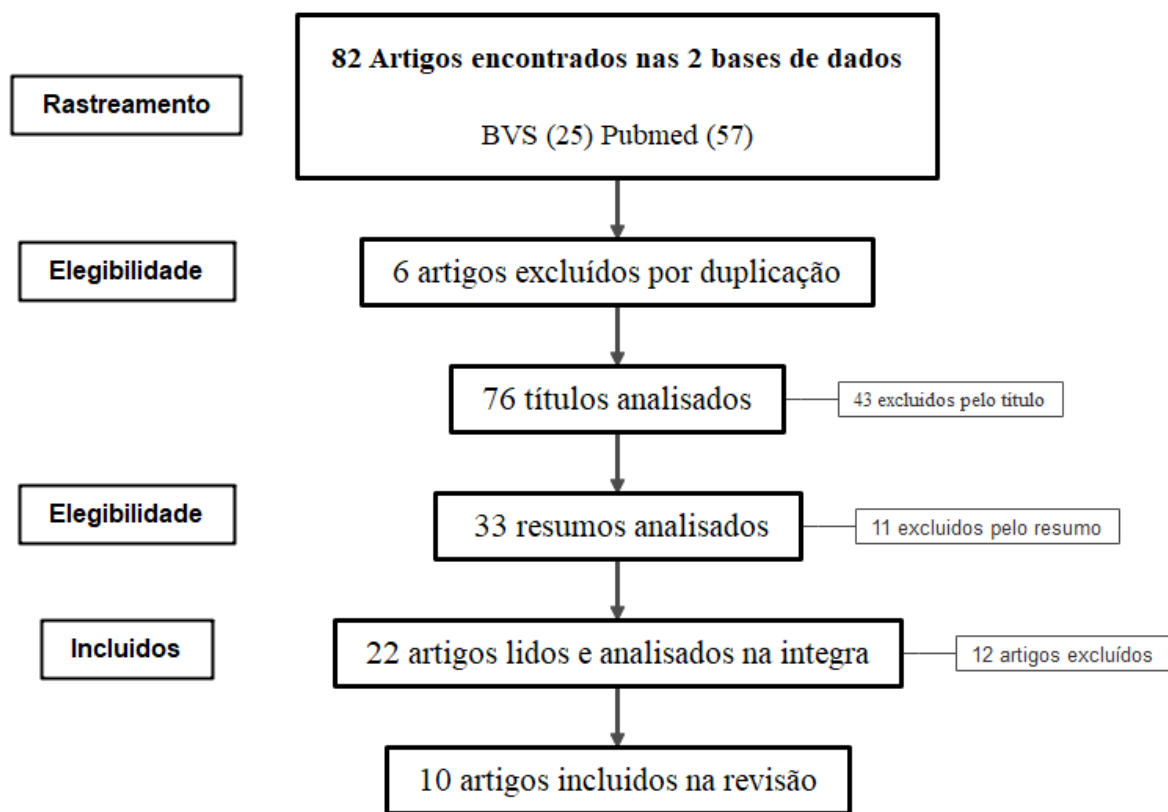
Ao examinar os trabalhos que atendem aos requisitos de inclusão, que foram posteriormente organizados de acordo com as definições dos assuntos já apresentados: Microplásticos no meio ambiente, os impactos dos microplásticos na saúde em geral, análise da absorção, distribuição e potenciais efeitos toxicológicos dos microplásticos no sistema cardiovascular humano. Procurando também o acréscimo de informações adicionais a fim de melhorar qualitativamente o assunto proposto.

Ao final do processo de desenvolvimento da revisão integrativa, a síntese de todo o conhecimento coletado foi apresentada usando os instrumentos criados. Apontando as perspectivas de vários autores, discutindo os resultados, comparando os resultados com a literatura e oferecendo sugestões e perspectivas importantes para futuros estudos relacionados ao tema ou trabalhos semelhantes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer da revisão, foram inicialmente identificados um total de 82 artigos relevantes através de uma busca abrangente nas bases de dados acadêmicas BVS e PubMed. Estes artigos foram selecionados com base em critérios de inclusão que abrangiam a relevância para o tema, a qualidade metodológica e os critérios que abrangiam os estudos dos últimos anos.

Figura 2- Fluxograma da Busca de artigos e critérios de seleção



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após a seleção, extraiu-se as informações pertinentes de cada artigo conforme os dois instrumentos citados. Ao examinar os anos de publicação dos artigos, observa-se um crescimento no número de publicações ao longo dos anos, deixando evidente que de 2020 até 2024, houve um aumento significativo. Onde evidenciou que o tema é relativamente novo e que ainda está sendo explorado de maneira aprofundada. Mas esse crescimento no volume de artigos, reflete um interesse crescente e uma maior dedicação à investigação do assunto relatado.

As bases de dados utilizadas para a pesquisa revelam uma predominância de plataformas internacionais, como PubMed e MedLine, que contêm a maioria dos artigos analisados. A análise também revela uma ausência notável de estudos publicados por pesquisadores brasileiros, o que sugere uma lacuna na contribuição nacional para o debate acadêmico sobre o tema em questão. Essa falta de presença pode ser atribuído a diversos fatores, como a recente descoberta do assunto e sua complexidade, além disto muitas pesquisas até recentemente apenas focaram nos efeitos ambientais dos microplásticos (Yi-Chun Chen et al. 2022), criando algumas lacuna no conhecimento, com o cenário atual vemos uma oportunidade para ampliar a pesquisa e a publicação no Brasil.

As informações de cada artigo usado nessa revisão são mostradas no quadro 2.

QUADRO 2 - Identificação dos estudos utilizados na construção dos resultados e discussões quanto aos nomes, autorias, bases de dados, periódicos e anos.

Nº	IDENTIFICAÇÃO DO ESTUDO	AUTORES	BASE DE DADOS	PERIÓDICO	ANO
1	Nanoplastic-induced vascular endothelial injury and coagulation dysfunction in mice.	Xiuxiu Wang et al.,	MEDLINE	Science of The Total Environment	2022
2	Evaluation of toxicity of polystyrene microplastics under realistic exposure levels in human vascular endothelial EA.hy926 cells.	Yi-Chun Chen et al.,	MEDLINE	Chemosphere	2022
3	Pigment microparticles and microplastics found in human thrombi based on Raman spectral evidence.	Di wu et al.,	MEDLINE	Journal of Advanced Research	2023
4	Polystyrene microplastics cause cardiac fibrosis by activating Wnt/ β -catenin signaling pathway and promoting cardiomyocyte apoptosis in rats.	Zekang Li et al.,	MEDLINE	Environmental Pollution	2020
5	Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery.	Yunxiao yang et al.,	PUBMED	Environmental Science & Technology	2023
6	Long-Chain Acyl Carnitines Aggravate Polystyrene Nanoplastics-Induced Atherosclerosis by Upregulating MARCO.	Bo wang et al.,	PUBMED	Advanced Science	2023
7	Polystyrene bead ingestion promotes adiposity and cardiometabolic disease in mice.	Jingjing Zhao et al.,	PUBMED	Ecotoxicology and Environmental Safety	2022
8	Effects of polystyrene nanoplastics on endothelium senescence and its underlying mechanism,	Saugat Shiwakoti et al.,	PUBMED	Environment International	2022

9	The cardiovascular toxicity of polystyrene microplastics in rats: based on untargeted metabolomics analysis.	Zikai Song et al.,	PUBMED	Frontiers in Pharmacology	2024
10	Cardiovascular toxicity assessment of polyethylene nanoplastics on developing zebrafish embryos.	Mengqi Sun et al.,	PUBMED	Chemosphere	2021

Fonte: elaboração própria (2024).

Cada estudo utiliza diferentes metodologias para analisar os efeitos dos microplásticos, como Xiuxiu Wang et al. que utilizou-se de camundongos como modelo experimental para avaliar os efeitos dos nanoplásticos de poliestireno na lesão vascular e disfunção de coagulação, Yi-chun Chen et al. avaliou células endoteliais humanas para estudar o impacto de microplásticos em concentrações realistas e analisando suas respostas inflamatórias e oxidativas, Di wu et al. fez a análise de trombos humanos através de espectrometria Raman para identificar a presença de microplásticos e suas possíveis associações como o estado patológico, Zekang Li et al. investigou em ratos Wistar a relação entre microplásticos e fibrose cardíaca, explorando o mecanismo através da via Wnt/ β -catenina e apoptose celular e Yunxiao Yang et al. coletou amostras de pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, examinando tecidos como pericárdio e miocárdio, para detectar a presença de microplásticos nos tecidos cardíacos humanos. Estas e outras metodologias proporcionam uma boa base para a discussão dos efeitos cardiovasculares dos microplásticos.

Os principais resultados indicam que os microplásticos podem causar danos significativos ao sistema cardiovascular, como a fibrose e ativação de vias pró-inflamatórias (Wnt/ β -catenina) em ratos, disfunção vascular e inflamação em células endoteliais humanas e a comprovação do acúmulo de micropartículas em trombos de pacientes humanos. Assim os artigos se relacionam sugerindo que os microplásticos não só atingem tecidos cardíacos, mas também provocam danos fisiológicos significativos, aumentando o risco de doenças cardiovasculares.

QUADRO 3 - Identificação dos estudos selecionados para a construção dos resultados e discussões quanto aos títulos, objetivos e resultados.

Nº	Título	Objetivo	Metodologia	Resultados
----	--------	----------	-------------	------------

1	Nanoplastic-induced vascular endothelial injury and coagulation dysfunction in mice.	Investigar os impactos cardiovasculares adversos dos nanoplásticos de poliestireno (PS), PS-NH ₂ e PS-COOH em camundongos.	Ensaio Experimental com ratos.	Os resultados gerais indicaram que a exposição aos nanoplásticos pode induzir a lesão vascular e a disfunção da coagulação por meio das vias JAK1/STAT3/TF.
2	Evaluation of toxicity of polystyrene microplastics under realistic exposure levels in human vascular endothelial EA.hy926 cells.	O estudo usa células endoteliais vasculares humanas EA.hy926 para examinar o potencial tóxico de MPs de poliestireno (PSMPs) sob concentrações sanguíneas realistas.	Estudo experimental com células humanas.	Descobertas indicam que a exposição a concentrações sanguíneas realistas de PSMPs tem um baixo potencial de impactar a saúde vascular humana. No entanto, os humanos podem ser rotineiramente expostos por longos períodos a PSMPs. Quando os PSMPs são acumulados no sistema circulatório em concentrações suficientemente altas, eles provavelmente estão associados ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares.

3	Pigment microparticles and microplastics found in human thrombi based on Raman spectral evidence.	Explorar o acúmulo de partículas ambientais no trombo, estrutura patológica no sistema circulatório sanguíneo.	Análise laboratorial de operações cirúrgicas em humanos.	Este estudo fornece a primeira fotografia e evidência do espectro Raman de micropartículas em trombos. Um grande número de partículas não solúveis, incluindo micropartículas de material sintético, pode se acumular nas artérias, sugerindo que o risco de exposição a micropartículas foi subestimado e a reavaliação de seus efeitos à saúde é urgentemente necessária.
4	Polystyrene microplastics cause cardiac fibrosis by activating Wnt/ β -catenin signaling pathway and promoting cardiomyocyte apoptosis in rats.	Identificar o impacto dos MPs de poliestireno (PS) no sistema cardiovascular e o mecanismo toxicológico subjacente.	Ensaio Experimental com ratos.	Os resultados sugeriram que os PS MPs poderiam levar à toxicidade cardiovascular ao induzir fibrose cardíaca por meio da ativação da via Wnt/ β -catenina e apoptose miocárdica desencadeada por estresse oxidativo.
5	Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery.	Investigar se microplásticos existem no coração humano e seus tecidos circundantes.	Análise laboratorial de operações cirúrgicas em humanos.	A presença de poli(metacrilato de metila) no apêndice atrial esquerdo, tecido adiposo epicárdico e tecido adiposo pericárdico não pode ser atribuída à exposição acidental durante a cirurgia, fornecendo evidências diretas de microplásticos em pacientes

				submetidos à cirurgia cardíaca.
6	Long-Chain Acyl Carnitines Aggravate Polystyrene Nanoplastics- Induced Atherosclerosis by Upregulating MARCO.	Estudo visa abordar os mecanismos que os MNPs usam para poder causar aterosclerose.	Ensaio Experimental com ratos.	O estudo mostrou que a regulação positiva de MARCO, ativação de macrófagos e interrupção do metabolismo lipídico foram o eixo central do dano vascular aterosclerótico induzido por PS-NP in vivo. Além disso, também descobrimos que os LCACs agravaram a lesão vascular aterosclerótica induzida por PS-NP ao regular positivamente MARCO e ativação de macrófagos in vitro.
7	Polystyrene bead ingestion promotes adiposity and cardiometabolic disease in mice.	Determinar se a ingestão de microplásticos promoveu doença cardiovascular pré-clínica (DCV).	Ensaio Experimental com ratos.	A ingestão inevitável de microplásticos no mundo moderno pode promover CMD e, portanto, pode ser considerada um novo fator de risco para o desenvolvimento de DCV.

8	Effects of polystyrene nanoplastics on endothelium senescence and its underlying mechanism.	Avaliar a possibilidade de que a exposição aos NPs promova a senescência prematura das células endoteliais (EC) em ECs da artéria coronária suína e, se for o caso, elucidar o mecanismo subjacente.	Estudo experimental com células humanas.	Os NPs prejudicaram o vasorelaxamento dependente do endotélio associado à diminuição da expressão da óxido nítrico sintase endotelial (eNOS). Os NPs aumentaram a formação de espécies reativas de oxigênio em ECs, e o aumento dos níveis de estresse oxidativo foi associado à indução da expressão de NADPH oxidases, seguido pela subsequente regulação negativa da expressão de Sirt1. As características da senescência e disfunção da CE causadas por NPs são prevenidas por um antioxidante (N-acetilcisteína), um inibidor da NADPH oxidase (apocinina) e um ativador Sirt1 (resveratrol).
9	The cardiovascular toxicity of polystyrene microplastics in rats: based on untargeted metabolomics analysis.	Observar os efeitos tóxicos de PS-mps no sistema cardiovascular.	Ensaio Experimental com ratos.	A exposição a microplásticos de poliestireno causou um distúrbio no metabolismo lipídico em ratos e levou a um aumento nos indicadores de inflamação e estresse oxidativo nos tecidos miocárdico e aórtico, mas resultou em uma

				diminuição no nível de IL-6. Os resultados da metabolômica não direcionada mostraram que os metabólitos com efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios, incluindo equol e ácido 4-hidroxibenzoico, foram significativamente regulados positivamente.
10	Cardiovascular toxicity assessment of polyethylene nanoplastics on developing zebra.fish embryos	Avaliar os efeitos cardiovasculares dos nanoplásticos foi realizada em embriões de peixe-zebra.	Ensaio Experimental com embriões de peixe-zebra.	Os dados sugeriram que os nanoplásticos podem desencadear a toxicidade cardiovascular em embriões de peixe-zebra, o que pode fornecer uma pista essencial para a avaliação de segurança dos nanoplásticos.

Levando em consideração os 10 artigos selecionados, foi notado e evidenciado através dos mesmos, o relevante impacto causado pelo sistema cardiovascular de modo geral. Essa abordagem integrada fortalece a relevância da pesquisa, mas também propõe um caminho para futuras investigações que possam elucidar ainda mais os mecanismos subjacentes a essas interações complexas, visando, pôr fim, a proteção da saúde pública e a mitigação dos riscos associados à exposição a esses contaminantes ambientais.

A investigação sobre os efeitos dos microplásticos na saúde cardiovascular ganhou destaque nas últimas décadas, impulsionando uma série de estudos que utilizam metodologias variadas para compreender essa complexa problemática. A diversidade de abordagens metodológicas reflete a complexidade dos efeitos dos microplásticos e a necessidade de um olhar multifacetado sobre suas implicações.

Um dos métodos mais comuns nas pesquisas sobre os efeitos cardiovasculares dos microplásticos é o uso de camundongos como modelos experimentais. Wang et al ³⁵ Ao investigar os efeitos do poliestireno (PS), PS-NH₂ e PS-COOH em lesões vasculares e estados pró-trombóticos utilizaram esses animais para observar respostas biológicas no organismo vivo. Esse tipo de abordagem permitiu que os pesquisadores avaliassem não apenas os danos diretos às estruturas vasculares, mas também os mecanismos subjacentes, como inflamação e estresse oxidativo. Tendo como resultado, a descoberta que a exposição a esses nanoplásticos causou lesões vasculares, danos estruturais das células endoteliais vasculares e respostas inflamatórias. O uso desses camundongos foi valioso por fornecer um contexto biológico complexo, permitindo que os cientistas entendessem melhor como a exposição a microplásticos pode afetar a saúde cardiovascular.

A exposição dos ratos Wistar a microplásticos (MPs) de poliestireno foi realizada com o objetivo de investigar seus efeitos sobre a fibrose cardíaca e a ativação da via Wnt/ β -catenina. Li et al ³⁶, diz que este modelo experimental foi eficaz, pois permitiu o controle rigoroso de variáveis e a análise das respostas fisiológicas, refletindo aspectos importantes da biologia humana. Os resultados do estudo revelaram que os MPs de poliestireno induziram apoptose nos cardiomiócitos, além de ativarem a via de sinalização Wnt/ β -catenina, mediada por estresse oxidativo. Contribuindo para o desenvolvimento de fibrose cardíaca e, eventualmente, para a disfunção do coração. A escolha de ratos como sujeitos de pesquisa ajudou a entender melhor os processos moleculares e as alterações estruturais que podem ocorrer no coração devido à exposição a microplásticos, fornecendo informações valiosas sobre como esses contaminantes podem contribuir para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares.

A investigação que Wang B et al ³⁷ expôs os camundongos aos nanoplásticos de poliestireno por gavagem oral in vitro, em combinação com a metodologia de superfície de resposta, representa uma abordagem rigorosa para entender as interações entre microplásticos e outros compostos. Essa metodologia permitiu otimizar as condições experimentais, investigar como diferentes tamanhos e concentrações de partículas podem afetar a saúde cardiovascular nos camundongos. Através dos resultados coletados, evidenciou que a exposição aumentou os níveis de triglicerídeos no sangue, que favoreceu o acúmulo de lipídios nas artérias, contribuindo para o desenvolvimento de aterosclerose. Além disso, houve uma redução nos fosfolipídios, comprometendo a função das lipoproteínas de alta densidade (HDL), que são essenciais para a remoção do colesterol da parede arterial, intensificando o processo aterosclerótico. A ativação de macrófagos pró-inflamatórios nas artérias aumentam a inflamação local, acelerando a progressão da doença. Também foi observado um aumento na

rigidez arterial, o que prejudicou a elasticidade dos vasos sanguíneos e contribuiu para o risco de hipertensão e outras complicações cardiovasculares. Esses resultados indicaram que a exposição aos microplásticos causaram efeitos adversos, diretos na saúde cardiovascular, que agravou processos inflamatórios e ateroscleróticos, causando prejuízos à função vascular.

Já no estudo Zhao et al ³⁸, sobre o impacto das esferas de poliestireno na saúde dos camundongos, surgem questões importantes sobre a exposição a microplásticos. No experimento, foi utilizada água potável normal e água com esferas de poliestireno, empregando partículas de diferentes tamanhos (0,5 µm e 5 µm) e doses (0,1 µg/ml e 1 µg/ml). Os pesquisadores puderam explorar como essas variáveis afetam o metabolismo e a homeostase da glicose. Os resultados indicaram que a exposição a essas partículas interferiu nos níveis de glicose, aumentando a resistência à insulina, o que sugeriu um impacto direto no metabolismo. Essa alteração no metabolismo da glicose não só levanta preocupações sobre os riscos para a saúde metabólica, mas também pode estar relacionada a uma maior predisposição para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares, uma vez que a resistência à insulina é um fator de risco conhecido para essa condição. Além disso, resultados implicaram que a exposição a microplásticos contribuiu para a inflamação sistêmica, o que agravou a progressão de doenças vasculares, comprometendo ainda mais a função cardiovascular. Portanto, esse comportamento pode ser um agravante para possíveis doenças cardiovasculares, dado que o metabolismo da glicose e a inflamação desempenham na saúde do coração.

No estudo Song et al ³⁹ realizado com 48 ratos Wistar, os animais foram divididos aleatoriamente em quatro grupos e expostos a diferentes concentrações de microplásticos de poliestireno (PS-MPs) por 90 dias. Esse período permitiu a análise de marcadores bioquímicos no miocárdio, na aorta e no sangue. Ao longo do estudo, observou-se que a exposição aos microplásticos causou distúrbios no metabolismo lipídico, com um aumento nos indicadores de inflamação e estresse oxidativo nos tecidos miocárdico e aórtico. Curiosamente, também foi registrada uma diminuição nos níveis de IL-6, um marcador inflamatório importante. Embora a exposição a PS-MPs não tenha provocado alterações estruturais evidentes no sistema cardiovascular, os resultados indicaram que gerou mudanças bioquímicas significativas, em doses mais altas. Esses achados sugerem que, embora não haja alterações visíveis no coração ou nas artérias, a exposição prolongada a microplásticos pode alterar processos fundamentais para a saúde cardiovascular, apontando para potenciais riscos a longo prazo. Esse comportamento pode representar um fator de risco significativo, para futuras complicações cardiovasculares, mesmo na ausência de danos estruturais imediatos.

No estudo Shiwakoti et al ⁴⁰, foi investigado o impacto dos nanoplasticos (NPs) nas células endoteliais da artéria coronária suína. As células endoteliais foram tratadas com NPs, e diversas análises foram realizadas para identificar marcadores de envelhecimento, incluindo a atividade da β -galactosidase, além da expressão de proteínas relacionadas à senescência. Também foram avaliados o vasorelaxamento dependente do endotélio e a expressão do óxido nítrico. Os resultados mostraram que o tratamento com NPs resultou na aquisição de marcadores de senescência nas células endoteliais, além de aumentar a atividade da β -galactosidase. Houve uma inibição da proliferação celular, acompanhada pela expressão aumentada das proteínas p53, p21 e p16. Os NPs também prejudicaram o vasorelaxamento dependente do endotélio, o que foi associado a uma diminuição na expressão do óxido nítrico. Além disso, os NPs aumentaram a formação de espécies reativas de oxigênio nas ECs, o que elevou os níveis de estresse oxidativo. Esse aumento foi relacionado à indução da expressão de Fosfato de Dinucleótido de Nicotinamida e Adenina (NADPH), levando à regulação negativa de Sirt1. No entanto, o uso de um antioxidante (N-acetilcisteína), um inibidor da NADPH (apocinina) e um ativador de Sirt1 (resveratrol) preveniu as características de senescência e disfunção endotelial induzidas pelos NPs.

Na análise seguinte, Chen et al ⁴¹ utilizou células endoteliais vasculares humanas EA.hy926 que são uma linha celular amplamente utilizada na investigação de doenças cardiovasculares, onde foram utilizadas para investigar os efeitos tóxicos dos microplásticos de poliestireno em concentrações realistas encontradas na corrente sanguínea. As células foram expostas a diferentes concentrações de microplásticos de poliestireno e diversas análises foram realizadas para avaliar o estresse oxidativo, a citotoxicidade e a apoptose. Os resultados indicaram que a exposição a microplásticos de poliestireno causou estresse oxidativo nas células EA.hy926, refletido pela redução na expressão de antioxidantes e levando à citotoxicidade apoptótica. A apoptose induzida pelos microplásticos de poliestireno resultou na diminuição da expressão de proteínas, que são cruciais para a regulação celular e a manutenção da integridade da barreira vascular.

Outro estudo, Wu et al ⁴² ressaltou a importância de uma abordagem clínica na pesquisa sobre microplásticos foi a análise de trombos coletados de pacientes submetidos a cirurgias cardiovasculares. Utilizando a espectroscopia Raman, os pesquisadores conseguiram identificar micropartículas não solúveis presentes nos trombos, o que gerou uma conexão direta entre a pesquisa laboratorial e a prática clínica. Esse achado não apenas ampliou o entendimento sobre a presença de microplásticos no corpo humano, mas também sugeriu que essas partículas

pudessem estar associadas a condições cardiovasculares, como o aumento do risco de eventos trombóticos. A análise dos trombos forneceu uma visão realista e alarmante sobre os potenciais riscos dos microplásticos para a saúde cardiovascular humana, que é um aspecto frequentemente negligenciado nos estudos experimentais. Contudo, foi importante destacar que, embora esses resultados tragam à tona uma possível ligação entre os microplásticos e as complicações cardiovasculares, as discussões sobre o impacto real e o mecanismo exato dessa relação ainda são superficiais. Provando que a pesquisa em questão precisa avançar para esclarecer como a exposição prolongada a microplásticos pode interferir na formação de trombos e em outras condições cardíacas, para que estratégias preventivas e terapêuticas eficazes possam ser desenvolvidas.

Estudos presentes neste trabalho Yang et al ⁴³ relatou que coletaram microplásticos de diferentes tecidos dos pacientes, como do pericárdio e miocárdio, onde ofereceu uma perspectiva inovadora e abrangente sobre a presença de microplásticos no corpo humano. Ao analisar esses tecidos, os pesquisadores investigaram como a contaminação por microplásticos se relaciona com a saúde cardiovascular. Então, de acordo com os resultados, foi indicado que, embora os microplásticos não estivessem presentes em todas as 15 amostras, nove tipos diferentes de microplásticos foram identificados em cinco tipos de tecidos. Além disso, a presença de microplásticos foi confirmada nas amostras de sangue, com partículas detectadas tanto antes quanto após a cirurgia. Mostrando que a coleta das amostras de várias áreas do sistema cardiovascular não só valida a presença desses contaminantes, mas também abre a porta para discussões sobre suas possíveis implicações, enriquecendo a literatura científica com dados relevantes sobre a saúde pública.

Finalmente, o uso de embriões de peixe-zebra tem se mostrado uma metodologia inovadora que investigou os efeitos biológicos dos micro e nanoplásticos. Esse modelo de Sun et al ⁴⁴ permitiu a observação em tempo real de processos, como alterações hemodinâmicas, inflamação e geração de ROS, desde os estágios iniciais de desenvolvimento. No estudo em questão, utilizou o modelo de embriões de peixe-zebra para investigar a toxicidade cardiovascular dos nanoplásticos, onde revelaram efeitos adversos significativos nos processos cardiovasculares em desenvolvimento. Pois a exposição a nanoplásticos causou edema no pericárdico, inibindo a angiogênese subintestinal e induziu a disfunção nas células endoteliais, afetando a função vascular. Além disso, houve uma redução na velocidade do fluxo sanguíneo e nos níveis de CO, o que comprometeu a oxigenação e o transporte de nutrientes. A exposição também alterou o estado do sangue circulante, aumentando a trombose e sugerindo que os

nanoplásticos afetam a coagulação. Esses resultados indicaram que os nanoplásticos têm um impacto negativo no desenvolvimento e na função cardiovascular em estágios iniciais.

Baseado no que foi exposto pelos autores, a presença de microplásticos no organismo podem levar a uma série de consequências adversas, principalmente no sistema cardiovascular. Alguns estudos mostraram aumentos significativos nos tecidos do miocárdio e aórtico. No qual, curiosamente, todas as alterações pertinentes ao coração e às suas vias, mostrou-se que o microplástico é o principal causador dessas adversidades. Os dados sugeriram por meio do mesmo que a exposição a essas partículas pode provocar toxicidade cardiovascular em animais, aos quais ofereceram informações importantes para a avaliação de segurança desses materiais tanto aos mesmos, como em seres humanos.

Os trabalhos usados na revisão, reforçam que os microplásticos estão se tornando onipresentes em nosso ambiente e, conseqüentemente, em nosso organismo. Mostrando como a ingestão de microplásticos é uma realidade da vida moderna, deixando claro que precisa-se olhar mais de perto para esses materiais como um novo fator de risco para doenças cardiovasculares.

Ademais, a diversidade de metodologias empregadas nos estudos sobre as implicações cardiovasculares dos microplásticos reflete a complexidade do tema e a necessidade de uma abordagem integrada. Desde investigações em modelos animais até análises clínicas e experimentos inovadores, cada abordagem traz contribuições únicas para o entendimento dos efeitos dos microplásticos na saúde cardiovascular. Essa combinação de metodologias e resultados foi crucial para esclarecer as consequências da exposição a microplásticos e pode orientar futuras pesquisas e políticas de saúde pública voltadas para a mitigação de riscos à saúde.

5 CONCLUSÃO

Os microplásticos ainda são um novo fator a ser estudado na saúde humana, através deste estudo pode-se destacar diversos pontos de vista e experiências que nos ajudaram a esclarecer que os microplásticos representam um problema complexo para a saúde cardiovascular humana.

De forma geral, os estudos forneceram uma base ampla e consistente para compreender os riscos que os microplásticos representam à saúde cardíaca. Este trabalho contribuiu significativamente para esclarecer essas implicações ao reunir evidências que justificam a necessidade de estratégias de mitigação. Com o crescente aumento da produção destes materiais será questão de tempo até que uma série de casos relacionados a este tema surjam, aumentando

o risco de doenças cardiovasculares. Diante desse cenário, a pesquisa reforça a importância de estratégias de mitigação, que envolvem tanto a conscientização pública quanto o desenvolvimento de políticas de controle sobre o uso e descarte de plásticos. Essas iniciativas são essenciais para reduzir a exposição humana aos microplásticos e, consequentemente, mitigar seus impactos negativos na saúde cardiovascular.

REFERÊNCIAS

- 1 Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv*. 2017.
- 2 Brandt EMF, Aquino SF de, Chernicharo CA de L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 2013.
- 3 Rhodes CJ. Solving the plastic problem: From cradle to grave, to reincarnation. *Science Progress* [Internet] 2019.
- 4 Lett Z, Hall A, Skidmore S, Alves NJ. Environmental microplastic and nanoplastic: Exposure routes and effects on coagulation and the cardiovascular system. *Environmental Pollution* [Internet] 2021.
- 5 Bonanno G, Orlando-Bonaca M. Marine plastics: What risks and policies exist for seagrass ecosystems in the Plasticene? *Marine Pollution Bulletin* 2020.
- 6 Persiani E, Cecchetti A, Ceccherini E, Gisone I, Morales MA, Vozzi F. Microplastics: A Matter of the Heart (and Vascular System). *Biomedicines* [Internet] 2023.
- 7 Souza Machado AA, Kloas W, Zarfl C, Hempel S, Rillig MC. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* [Internet] 2018.
- 8 Yee MSL, Hii LW, Looi CK, Lim WM, Wong SF, Kok YY, et al. Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials* 2021.
- 9 Marcelo P, Bárbara, Teresa RB, Brazil De Paiva C. Microplásticos nos ecossistemas: impactos e soluções [Internet] 2022.
- 10 Yan J, Pan Y, He J, Pang X, Shao W, Wang C, et al. Toxic vascular effects of polystyrene microplastic exposure. *Science of The Total Environment* 2023.
- 11 Montagner C, Dias M, Paiva E, Vidal C. Microplásticos: Ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química Nova* 2021.
- 12 Wang Y, Zhou B, Chen H, Yuan R, Wang F. Distribution, biological effects and biofilms of microplastics in freshwater systems - A review. *Chemosphere* 2022.
- 13 Zhu X, Wang C, Duan X, Liang B, Genbo Xu E, Huang Z. Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor? *Environment International* 2023.

14 European Food Safety Authority. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Journal [Internet] 2016.

15 Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin [Internet] 2011.

16 Karbalaee S, Hanachi P, Walker TR, Cole M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. Environmental Science and Pollution Research 2018.

17 Bajt O. From plastics to microplastics and organisms. FEBS Open Bio [Internet] 2021.

18 Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, et al. Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean. Science 2015.

19 Siddiqui SA, Singh S, Bahmid NA, Shyu DJH, Domínguez R, Lorenzo JM, et al. Polystyrene microplastic particles in the food chain: Characteristics and toxicity - A review. Science of The Total Environment [Internet] 2023.

20 Blackburn K, Green D. The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. Ambio [Internet] 2021.

21 Oliveira M, Almeida M, Miguel I. A micro(nano)plastic boomerang tale: A never ending story? TrAC Trends in Analytical Chemistry 2019.

22 Barceló D, Picó Y, Alfarhan AH. Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. Environmental Toxicology and Pharmacology [Internet] 2023.

23 Ragusa A, Notarstefano V, Svelato A, Belloni A, Gioacchini G, Blondeel C, et al. Raman Microspectroscopy Detection and Characterisation of Microplastics in Human Breastmilk. Polymers [Internet] 2022.

24 Li Y, Tao L, Wang Q, Wang F, Li G, Song M. Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. Environment & Health 2023.

Kosuth M, Mason SA, Wattenberg EV. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. Zhou Z, editor. PLOS ONE [Internet] 2018.

25 Stapleton P. Toxicological considerations of nano-sized plastics. AIMS Environmental Science 2019.

26 Lehner R, Weder C, Petri-Fink A, Rothen-Rutishauser B. Emergence of Nanoplastic in the Environment and Possible Impact on Human Health. Environmental Science & Technology 2019.

27 Rist S, Carney Almroth B, Hartmann NB, Karlsson TM. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. Science of The Total Environment 2018.

- 28 Grote K, Brüstle F, Ann-Kathrin Vlacil. Cellular and Systemic Effects of Micro- and Nanoplastics in Mammals—What We Know So Far. *Materials* 2023.
- 29 Xu D, Ma Y, Han X, Chen Y. Systematic toxicity evaluation of polystyrene nanoplastics on mice and molecular mechanism investigation about their internalization into Caco-2 cells. *Journal of Hazardous Materials* 2021.
- 30 Münzel T, Gori T, Al-Kindi S, Deanfield J, Lelieveld J, Daiber A, et al. Effects of gaseous and solid constituents of air pollution on endothelial function. *European Heart Journal*. 2018
- 31 Hu M, Palić D. Micro- and nano-plastics activation of oxidative and inflammatory adverse outcome pathways. *Redox Biology* [Internet] 2020.
- 32 Gori T, Münzel T. Oxidative stress and endothelial dysfunction: Therapeutic implications. *Annals of Medicine* 2011.
- 33 Zhu X, Wang C, Duan X, Liang B, Genbo Xu E, Huang Z. Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor? *Environment International* 2023.
- 34 Tavares De Souza M, Dias Da Silva M, De Carvalho R. Revisão integrativa: o que é e como fazer Integrative review: what is it? How to do it? 2018.
- 35 Wang X, Jia Z, Zhou X, Su L, Wang M, Wang T, Zhang H. Nanoplastic-induced vascular endothelial injury and coagulation dysfunction in mice. *Sci Total Environ*. 2023.
- 36 Li Z, Zhu S, Liu Q, Wei J, Jin Y, Wang X, Zhang L. Polystyrene microplastics cause cardiac fibrosis by activating Wnt/ β -catenin signaling pathway and promoting cardiomyocyte apoptosis in rats.. *Ambient Pollut*. 2020
- 37 Wang B, Liang B, Huang Y, Li Z, Zhang B, Du J, Ye R, Xian H, Deng Y, Xiu J, Yang X, Ichihara S, Ichihara G, Zhong Y, Huang Z. Long-chain acyl carnitines aggravate polystyrene nanoplastics-induced atherosclerosis by upregulating MARCO. *Sci Total Environ*. 2023.
- 38 Zhao J, Gomes D, Jin L, Mathis SP, Li X, Rouchka EC, Bodduluri H, Conklin DJ, O'Toole TE. Polystyrene bead ingestion promotes adiposity and cardiometabolic disease in mice. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2022;232
- 39 Song Z, Liu X, Zhang R, Li J, Wang L, Yang X, Zhang L, Yang X, Chen J. The cardiovascular toxicity of polystyrene microplastics in rats: based on untargeted metabolomics analysis. *Front Pharmacol*. 2024;15
- 40 Shiwakoti S, Poudel S, Yadav K, Shrestha S, Koirala R, Paudel B, Park J, Lee S, Choi H, Kim Y, Choi Y. Effects of polystyrene nanoplastics on endothelium senescence and its underlying mechanism. *Environ Int*. 2022
- 41 Chen YC, Lin J, Wang Q, Zhang Y, Lee W, Zhang Y, Xu T, Zhu W. Evaluation of toxicity of polystyrene microplastics under realistic exposure levels in human vascular endothelial EA.hy926 cells. *Chemosphere*. 2023

42 Wu D, Li Y, Zhang J, Wang Y, Chen H, Wang S, Li S, Sun Z, Hu J. Pigment microparticles and microplastics found in human thrombi based on Raman spectral evidence. *J Adv Res*. 2023

43 Yang Y, Xie E, Du Z, Peng Z, Han Z, Li L, Zhao R, Qin Y, Xue M, Li F, Hua K, Yang X. Detection of various microplastics in patients undergoing cardiac surgery. *PubMed*. 2023

44 Sun M, Liu J, Zhang Y, Li Z, Ma Y, Chen J, Li X. Cardiovascular toxicity assessment of polyethylene nanoplastics on developing zebrafish embryos. *Chemosphere*. 2021