



ARTIGO DE REVISÃO

Impacto da poluição atmosférica e das alterações climáticas na saúde materna, fetal e pós-natal[☆]Mariana Matera Veras , Paulo Hilário Nascimento Saldiva 

Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP), Departamento de Patologia, Laboratório de Patologia Ambiental e Experimental, São Paulo, SP, Brasil

Recebido em 7 de outubro de 2024; aceito em 29 de outubro de 2024

PALAVRAS-CHAVE

Matéria particulada;
Temperatura;
Climas extremos;
Gravidez;
Desenvolvimento fetal

Resumo

Objetivo: Além dos fatores socioeconômicos, a poluição ambiental e as mudanças climáticas são ameaças contemporâneas à saúde. Nesta revisão, apresentamos os resultados de uma síntese abrangente recente de pesquisas existentes sobre os efeitos da poluição do ar e das mudanças climáticas na gestação, no desenvolvimento fetal e na saúde pós-natal.

Fontes de dados: Foram utilizados achados de revisões sistemáticas conduzidas nos últimos cinco anos e disponíveis no PubMed.

Resumo dos achados: Existem vastas e robustas evidências sobre a associação entre exposições à poluição do ar e resultados negativos. Diabetes gestacional, distúrbios hipertensivos da gravidez, pré-eclâmpsia, aborto espontâneo e depressão pós-parto materna são relatados. O desenvolvimento fetal e a saúde pós-natal também são prejudicados pelas exposições; o baixo peso ao nascer é achado comum em estudos em todo o mundo, mas há riscos aumentados de malformações e deficiências no neurodesenvolvimento. Embora haja menos estudos sobre fatores relacionados a mudanças climáticas, há evidências suficientes sobre os efeitos diretos e indiretos na saúde materna e no desenvolvimento fetal. Riscos aumentados de prematuridade, baixo peso ao nascer (BPN) e visitas ao pronto-socorro estão associados a temperaturas mais altas. A incidência de asma e os riscos de doenças respiratórias infecciosas também são influenciados por eventos climáticos extremos. É essencial reconhecer o profundo impacto que fatores ambientais, como poluição do ar e mudanças climáticas, podem ter na saúde materna, no desenvolvimento fetal e na saúde neonatal.

Conclusão: Os dados apresentados ressaltam os riscos significativos que a poluição ambiental representa durante a gestação, influenciando não apenas a saúde materna, mas também o bem-estar da criança em curto e longo prazo.

0021-7557/© 2024 Sociedade Brasileira de Pediatria. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

DOI se refere ao artigo: <https://doi.org/10.1016/j.ped.2024.10.006>

[☆] Como citar este artigo: Veras MM, Saldiva PH. Impact of air pollution and climate change on maternal, fetal and postnatal health. J Pediatr (Rio J). 2025;101:S48-S55.

* Autor para correspondência.

E-mail: verasine@usp.br (M.M. Veras).

0021-7557/© 2024 Sociedade Brasileira de Pediatria. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Entender a interação entre fatores ambientais e gestação é essencial para desenvolver estratégias eficazes de saúde públi-

ca que visem melhorar os resultados de saúde materna e fetal. Abordar questões como acesso a alimentos saudáveis, disparidades socioeconômicas e manejo do estresse pode mitigar significativamente os riscos associados a resultados adversos da gravidez.¹ Além de fatores socioeconômicos, a poluição ambiental e as mudanças climáticas são ameaças contemporâneas para uma gestação saudável e desenvolvimento completo do feto e saúde do neonato.^{2,3} Esta revisão apresenta os resultados de síntese recente e abrangente de pesquisas existentes sobre os efeitos da poluição do ar e das mudanças climáticas na gestação, no desenvolvimento fetal e na saúde pós-natal.

Métodos

Nesta revisão, foram incluídos os dados mais recentes de revisões sistemáticas recuperadas do PubMed publicadas nos últimos cinco anos, utilizando a combinação de termos de busca: air pollution AND gestation OR pregnancy and climate change AND gestation OR pregnancy. Títulos e resumos foram examinados para determinar sua elegibilidade para inclusão. Estudos sobre os efeitos da fumaça de incêndios florestais foram excluídos. Em seguida, foi conduzida revisão detalhada dos textos completos dos artigos que não foram excluídos. Os artigos selecionados foram agrupados de acordo com o resultado avaliado. Com base nessa classificação, três tópicos foram definidos para construir esta revisão: (I) efeitos adversos na saúde materna e gestação; (II) prejuízos no desenvolvimento fetal; e (III) impactos negativos na saúde pós-natal. Uma breve introdução sobre mudanças climáticas e poluição do ar está incluída.

Poluição do ar e mudanças climáticas

A poluição do ar e as mudanças climáticas são questões interconectadas que derivam de fontes semelhantes e têm efeitos compostos no meio ambiente e na saúde pública.⁴ A queima de combustíveis fósseis para energia, transporte e processos industriais é a principal fonte de poluição do ar e emissões de gases de efeito estufa. Isso resulta na liberação de poluentes nocivos, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), material particulado (MP), dióxido de nitrogênio (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO) e ozônio troposférico (O₃), que contribuem para as mudanças climáticas ao mesmo tempo em que degradam a qualidade do ar.⁴ A poluição do ar em ambientes fechados ou poluição do ar interno (PAI) não deve ser esquecida, pois afeta cerca de 2,4 bilhões de pessoas que dependem de combustíveis sólidos para cozinhar e para aquecimento.⁵

Tanto a poluição do ar externo quanto interno representam ameaça significativa à saúde pública, particularmente para populações vulneráveis, como crianças menores de 5 anos. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), aproximadamente 99% da população global respira ar que excede os limites de segurança recomendados, com países de baixa e média renda (PBMR) experimentando os maiores níveis de exposição.³

Além disso, testemunhamos um número crescente de incêndios florestais, que representam ameaças significativas à saúde humana, particularmente em populações vulneráveis, como crianças, bebês em gestação e idosos. De acordo com o UNICEF, quase 677.745 mortes prematuras globalmente são atribuídas à fumaça de incêndios florestais a cada ano, com cerca de 40% dessas fatalidades ocorrendo em crianças menores de 5 anos.⁶

Entretanto, não faz parte do escopo desta revisão os efeitos da exposição gestacional à fumaça de incêndios florestais; uma breve visão geral sobre esse tópico foi publicada recentemente.⁷

Mudanças climáticas também são questão crítica de saúde pública, particularmente no que diz respeito aos seus efeitos na gravidez e na saúde infantil. À medida que as temperaturas globais aumentam e os eventos climáticos extremos se tornam mais frequentes, as mulheres grávidas e seus fetos em desenvolvimento enfrentam riscos maiores associados a mudanças ambientais.

Resultados

Foram recuperados 149 manuscritos e, após a remoção de duplicações e aqueles fora do escopo desta revisão, restaram 86 estudos. Em virtude da limitação no número de referências, as revisões mais recentes foram incluídas. A lista de todos os estudos recuperados e consultados para esta revisão pode ser acessada através do link <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/myncbi/1ravwbM1gdKkRJ/collections/64501585/p>, e os principais achados dos estudos citados nesta revisão estão resumidos na [tabela 1](#).

Efeitos adversos na saúde materna e na gestação

A exposição materna à poluição do ar durante a gravidez tem sido associada a resultados negativos para a saúde materna. Mazumder et al.⁸ conduziram uma revisão guarda-chuva para resumir sistematicamente as evidências globais sobre os efeitos dos poluentes do ar na saúde materna. Eles descobriram que MP, SO₂ e NO₂ têm associações positivas com diabetes mellitus gestacional (DMG). Além disso, MP e NO₂ mostraram consistentemente relação positiva com distúrbios hipertensivos da gravidez (DHG) e pré-eclâmpsia (PE). Embora as evidências sejam limitadas, há correlação notável entre MP e hipertensão gestacional (HG), bem como aborto espontâneo (AE). Apenas uma metanálise examinou o impacto da poluição do ar na depressão pós-parto (DPP) materna, mostrando relação positiva significativa com MP₁₀ (partículas inaláveis, com diâmetros que são geralmente de 10 micrômetros).

A exposição à poluição do ar também pode predispor à ruptura prematura de membranas (RPM). A exposição materna a MP_{2,5} (partículas inaláveis, com diâmetros geralmente de 2,5 micrômetros ou menos) durante o segundo trimestre gestacional está associada a risco aumentado de ruptura prematura de membranas (RPM), com razão de chances combinada de 1,15 (IC de 95%: 1,05-1,26). Além disso, a exposição materna a MP₁₀, NO₂, NO, CO e SO₂ durante a gravidez, bem como a exposição de curto prazo a MP_{2,5}, NO₂, SO₂ e O₃, também está relacionada à ocorrência de RPM.⁹

Os mecanismos pelos quais a poluição do ar afeta a pressão arterial durante a gravidez não estão claros, mas podem envolver estresse oxidativo e inflamação, levando a disfunção endotelial e comprometimentos na função placentária.¹⁰

Mulheres grávidas são particularmente vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas em virtude das mudanças fisiológicas que ocorrem durante esse período. Essas mudanças podem prejudicar sua capacidade de lidar com estressores ambientais, tornando-as mais suscetíveis ao estresse por calor e complicações relacionadas. Além disso, as mudanças climáticas podem afetar indiretamente a saúde materna e infantil ao interromper

Tabela 1 Resumo dos principais achados de estudos selecionados sobre os efeitos da poluição do ar e das mudanças climáticas na saúde materna, fetal e neonatal

Autor	Objetivo	Desenho do estudo	Resultado
Mazumder H, Rimu FH, Shimul MH, et al. (2024)	Resumir as evidências globais sobre os efeitos dos poluentes atmosféricos nos resultados da saúde materna	Revisão guarda-chuva	Poluentes atmosféricos ambientais estão positivamente associados com diabetes mellitus gestacional (DMG), distúrbios hipertensivos da gravidez (DHG) e pré-eclâmpsia (PE). Evidência limitada de correlação positiva com hipertensão gestacional (HG) e aborto espontâneo (AE) e depressão pós-parto (DPP).
Liang Y, Li M, Lyu Q, et al. (2024)	Investigar a relação entre a exposição materna de longo e curto prazo à poluição do ar e a RPM	Revisão sistemática e metanálise	A exposição materna prolongada no segundo ou terceiro trimestre e a exposição materna de curto prazo à poluição do ar ambiente podem aumentar o risco de RPM.
Pappas A, Kovats S, Ranganathan M. (2024)	Examinar a literatura atual sobre o impacto de eventos climáticos extremos (ECE) na saúde materna	Revisão de escopo	ECE impactam negativamente a saúde materna por meio de vários mecanismos, incluindo acesso a serviços, estresse e mortalidade. Poucas evidências estão disponíveis para países de baixa renda.
Veenema RJ, Hoepner LA, Geer LA. (2023)	Identificar pesquisas sobre os efeitos das exposições ambientais relacionadas às mudanças climáticas na saúde perinatal e materna nos Estados Unidos	Revisão sistemática da literatura	Extremos de temperatura alta e baixa influenciam negativamente a saúde neonatal e materna. Resultados adversos da gravidez foram associados a furacões, ciclones tropicais e inundações repentinas.
Parasin N, Amnuaylojaroen T, Saokaew S. (2024)	Investigar o impacto da exposição ao MP2,5 durante a gravidez no BPN	Revisão sistemática e metanálise	Os achados revelaram uma relação significativa entre a exposição ao MP2,5 e o BPN tanto no primeiro como no segundo trimestres
Huang Z, Wu J, Qiu Y, et al. (2023)	Explorar a correlação entre a poluição do ar ambiente e a ocorrência de fenda orofacial (FOF) neonatal	Revisão sistemática e metanálise	Existe uma correlação estatística significativa entre a exposição a MP10, MP2,5, O3 e o risco de FOF no segundo mês de gravidez
Gholami Shahrehabak M, Mobasheri-Shiri M, Hesari M, et al. (2024)	Investigar a associação entre a exposição materna aos poluentes atmosféricos e os resultados da fertilização in vitro (FIV).	Revisão sistemática e metanálise	A exposição a poluentes atmosféricos foi associada ao risco de gravidez ectópica e tem uma associação reversa com gravidez bioquímica. Há também uma associação negativa entre exposições e taxas de nascidos vivos.
Chersich MF, Pham MD, Areal A, et al. (2020)	Avaliar se a exposição a altas temperaturas durante a gravidez está associada ao aumento do risco de parto prematuro, baixo peso ao nascer e natimorto.	Revisão sistemática e metanálise	As chances de um parto prematuro aumentam 1,05 vezes por aumento de 1 °C na temperatura e 1,16 vezes durante ondas de calor. Temperaturas mais altas estão associadas à redução do peso ao nascer. Natimortos aumentam 1,05 vezes (por aumento de 1 °C na temperatura. As associações foram maiores entre mulheres em grupos socioeconômicos mais baixos e em extremos de idade.
Daba C, Asmare L, Demeke Bayou F, et al. (2024)	Determinar a associação entre a exposição à poluição do ar interno e os resultados adversos da gravidez em países de baixa e média renda	Revisão sistemática e metanálise	A exposição à poluição do ar interno aumentou o risco de bebês pequenos para a idade gestacional em 23,7%, seguido de baixo peso ao nascer (17,7%).

Tabela 1 (Continuação)

Autor	Objetivo	Desenho do estudo	Resultado
Brink N, Lakhoo DP, Solarin I, et al. (2024)	Avaliar evidências sobre os impactos de longo prazo no feto da exposição ao calor no útero	Revisão sistemática	A exposição ao calor durante a gravidez está associada à diminuição de ganhos e menor nível educacional, piora cardiovascular, psiquiátrica e antropométrica em épocas subsequentes da vida. O efeito em mulheres foi maior do que em homens.
Weeda LJZ, Bradshaw CJA, Judge MA, et al. (2024)	Analisar vários resultados de saúde infantil devido às mudanças climáticas	Revisão sistemática e metanálise.	A exposição a temperaturas extremas aumenta o risco (60% em média) de parto prematuro. Doenças respiratórias, mortalidade e morbidade também são influenciadas pelas mudanças climáticas.
Luben TJ, Wilkie AA, Krajewski AK, et al. (2023)	Revisar a literatura disponível para evidências epidemiológicas da associação entre exposição de curto prazo à poluição do ar e mortalidade infantil	Revisão sistemática e metanálise	O aumento da exposição aos poluentes atmosféricos está associado à mortalidade infantil
Feng Y, Liu X, Zhang X, et al. (2024)	Avaliar evidências epidemiológicas recentes sobre a associação da poluição do ar com anomalias congênitas (AC)	Revisão sistemática e metanálise	Aumento de 10 µg/m ³ na exposição a MP10 durante o 1º mês de gravidez e no primeiro trimestre está associado ao aumento de AC em geral. A exposição durante toda a gestação está associada a doença cardíaca congênita, persistência do canal arterial, anomalias cromossômicas e anomalias do sistema nervoso
Amnuaylojaroen T, Parasin N, Saokaew S. (2024)	Investigar a associação entre poluição do ar e a vulnerabilidade de crianças aos transtornos do espectro autista (TEA).	Revisão sistemática e metanálise	Os achados demonstraram uma correlação entre a exposição a MP10 e MP2,5 e a ocorrência de TEA.
Zhao J, He T, Wang F, et al. (2024)	Investigar a relação entre exposições pré e pós-natais a poluentes atmosféricos específicos e o diagnóstico clínico de TDAH (transtorno de déficit de atenção e hiperatividade).	Revisão sistemática	Os resultados indicam uma forte ligação entre a exposição pré-natal a MP2,5 e NOx e um risco elevado de TDAH,
Yue D, Shen T, Mao J, et al. (2022)	Investigar a associação entre a exposição à poluição do ar durante a gravidez e o risco de eczema na prole.	Revisão sistemática e metanálise	Foi observada uma associação significativa entre a exposição materna ao NO ₂ e o eczema infantil, mas nenhuma associação foi observada entre a exposição ao MP10, MP2,5 e SO ₂ e o risco de eczema na prole.
Liu Y, Li Y, Xu H, et al. (2023)	Investigar a associação da exposição pré e pós-natal ao MP com a pressão arterial (PA) e a hipertensão em crianças e adolescentes.	Revisão sistemática e metanálise	A exposição pré e pós-natal ao MP pode aumentar a PA e contribuir para o aumento da prevalência de hipertensão em crianças e adolescentes.
Margetaki K, Bempi V, Michalaki E, et al. (2024)	Investigar a associação da exposição pré-natal à poluição do ar com a obesidade da prole e avaliar o possível efeito protetor do consumo materno de frutas e vegetais	Epidemiológica	O consumo materno de frutas e vegetais (fator de proteção) influencia a associação entre poluição do ar e obesidade infantil.

Tabela 1 (Continuação)

Autor	Objetivo	Desenho do estudo	Resultado
Siewert B, Kozajda A, Jaskulak M, et al. (2024)	Investigar a relação entre vários poluentes atmosféricos e a obesidade infantil	Revisão sistemática	Em locais com baixa poluição do ar, a influência das exposições é baixa ou inexistente. Em locais com altos níveis, há uma relação para MP2,5, MP1, MP10, NOx e SO2 com obesidade infantil.
Herting MM, Younan D, Campbell CE, Chen JC.(2019)	Avaliar e sintetizar as evidências relatadas em estudos de ressonância magnética sobre como a exposição precoce à poluição do ar externo afeta o neurodesenvolvimento.	Revisão sistemática	Associações entre exposição e menor área de superfície da substância branca, microestrutura, padrões específicos de região de espessura cortical) e volumes menores e/ou menos densidade dentro do caudado (n = 3); conectividade funcional alterada em estado de repouso e atividade cerebral a estímulos sensoriais (n = 1).
Castagna A, Mascheroni E, Fustinoni S, et al. (2022)	Avaliar a associação entre a exposição a poluentes atmosféricos nos períodos pré-natal e/ou pós-natal e habilidades de neurodesenvolvimento específicas em crianças em idade pré-escolar e escolar	Revisão sistemática	Impactos negativos de poluentes atmosféricos nas habilidades de neurodesenvolvimento das crianças foram notados, embora esses efeitos não tenham resultado em déficits de desempenho clinicamente significantes. As áreas mais afetadas incluíram o funcionamento intelectual geral e as funções de atenção/executivas.
Mishra S, Stukken CV, Drury S, et al. (2024)	Investigar, por meio de estudos populacionais, a associação entre a exposição pré-natal à poluição atmosférica e o comprimento do telômero (CT) e o conteúdo de DNA mitocondrial (DNAmT) no nascimento.	Revisão sistemática	Os resultados mostram evidências de que a exposição pré-natal ao MP2,5 afeta o eixo telômero-mitocondrial do envelhecimento ao nascer.
Martens DS, Cox B, Janssen BG, et al. (2022)	Avaliar a associação da exposição pré-natal a material particulado (MP) com o comprimento do telômero do recém-nascido	Coorte	O comprimento do telômero do cordão umbilical e placentário foi significativamente e inversamente associado à exposição ao MP2,5 durante a gestação
Dalugoda Y, Kuppa J, Phung H, et al.	Fornecer uma visão geral das evidências atuais da associação entre exposição à temperatura ambiente elevada durante a gravidez e resultados maternos, fetais e neonatais adversos.	Revisão de escopo	Há um risco aumentado associado a exposições a temperaturas mais altas. Entretanto, tem havido menos foco nas conexões entre calor e vários outros resultados negativos, incluindo anomalias congênitas e mortalidade neonatal.

a segurança alimentar e o acesso à assistência médica. Eventos climáticos extremos podem comprometer a produção e distribuição de alimentos, levando a deficiências nutricionais que podem impactar negativamente o desenvolvimento fetal. Além disso, os efeitos psicológicos de desastres relacionados ao clima podem contribuir para problemas de saúde mental em mulheres grávidas, complicando ainda mais seu estado de saúde.¹¹

Existem poucos estudos sobre os efeitos de eventos associados às mudanças climáticas e à saúde materna. Uma revisão sistemática recente¹² com base em estudos dos Estados Unidos examinou os efeitos do calor extremo, poluição do ar e desastres naturais na saúde materna. Os resultados indicam que extremos de temperatura influenciam negativamente a saúde perinatal e materna (idade gestacional reduzida, risco aumentado de parto a termo precoce ou risco aumentado de parto prematuro). Os estudos revisados indicam que a redução da

duração da gestação, parto prematuro, depressão, hipertensão e DMG, aumento de visitas ao pronto-socorro por complicações na gravidez também foram associados a furacões, ciclones tropicais e eventos de enchentes repentinas. Além disso, eventos extremos podem prejudicar o acesso ao pré-natal e a disponibilidade e utilização de serviços de apoio e assistência à maternidade, levando, em última análise, a resultados perinatais negativos e ameaças à saúde materna.

Comprometimentos do desenvolvimento fetal

Um dos resultados negativos mais frequentes associados à exposição gestacional à poluição do ar é o BPN. Estudos de diferentes partes do mundo confirmam essa associação, embora nem sempre concordem sobre em qual trimestre a exposição pode ser mais prejudicial. Uma das mais recentes metanálises

publicadas¹³ indicou associação significativa entre a exposição a MP_{2,5} e o BPN durante o primeiro e o segundo trimestres (OR 1,05; IC 95% 1,00-1,09; $p < 0,001$). Nenhuma diferença significativa foi observada entre os trimestres ($p = 0,704$). Esses resultados destacam o impacto contínuo do MP_{2,5} no desenvolvimento fetal em todos os estágios da gravidez.

O risco de malformações congênitas, como fendas orofaciais em recém-nascidos, também é aumentado em virtude da exposição a poluentes atmosféricos específicos durante a gravidez, levantando preocupações sobre o potencial de graves problemas de desenvolvimento.¹⁴

Casais que buscam tecnologia de reprodução assistida (TRA) também enfrentam os efeitos adversos da exposição à poluição do ar. De acordo com Gholami et al.,¹⁵ essa exposição está ligada a risco aumentado de gestações ectópicas e ao declínio nas taxas de nascidos vivos.

A temperatura ambiente também é fator importante para uma gestação bem-sucedida. Cherisich et al.¹⁶ revisaram 70 estudos de 27 países e descobriram que as chances de parto prematuro aumentaram 1,05 vezes (IC de 95%, 1,03-1,07) por aumento de 1°C na temperatura e 1,16 vezes (1,10-1,23) durante ondas de calor. A temperatura mais alta foi associada a redução do peso ao nascer em 18 de 28 estudos, com considerável heterogeneidade estatística. Oito estudos sobre natimortos mostraram associações entre temperatura e natimortos, com esse desfecho aumentando 1,05 vezes (1,01-1,08) por aumento de 1°C na temperatura. As associações entre temperatura e os desfechos foram maiores em mulheres de grupos socioeconômicos mais baixos e em extremos de idade; entretanto, eles apontam que as diferenças na metodologia para avaliar a exposição limitam a comparação entre os estudos.

A PAI é preocupação importante em PBMR, particularmente em relação ao seu impacto nos resultados gestacionais. Nessas regiões, muitas famílias dependem de combustíveis sólidos para cozinhar e para aquecimento, levando a altos níveis de poluentes internos, como MP_{2,5}, CO e compostos orgânicos voláteis. Daba et al.¹⁷ descobriram que a associação combinada entre PAI e pelo menos um resultado adverso da gravidez foi de 15,5% (IC 95%: 12,6-18,5). As exposições aumentaram o risco de bebê pequeno para a idade gestacional em 23,7% (IC 95%: 8,2-39,3) e BPN em 17,7% (IC 95%: 12,9-22,5). As implicações da poluição do ar interno são especialmente críticas para os PBMR, onde os recursos de saúde podem ser limitados.

Impactos negativos na saúde pós-natal

A mudança climática, particularmente o aquecimento global, está entre as maiores ameaças à saúde humana. Embora os efeitos de curto prazo da exposição ao calor na gravidez, como o parto prematuro, sejam bem documentados, os efeitos de longo prazo (saúde e sociais) receberam menos atenção. Brink et al.¹⁸ revisaram 29 estudos, todos observacionais, compreendendo 17 coortes, cinco casos-controle e oito desenhos transversais, com dados abrangendo de 1913 a 2019 e participantes variando de neonatos a idosos. Os autores descobriram que o aumento da exposição ao calor durante a gravidez estava associado a menores rendimentos e nível educacional (quatro de seis estudos), bem como a resultados cardiovasculares (três de seis), respiratórios (três de três), psiquiátricos (sete de 12) e antropométricos (dois de dois) adversos, levando potencialmente a uma mortalidade geral mais alta (dois de três). O impacto em bebês do sexo feminino foi mais pronunciado do que em bebês do sexo mascu-

lino em oito de nove estudos que diferenciaram por sexo. A qualidade das evidências variou: baixa para resultados respiratórios e de longevidade, e muito baixa para outros.

O estudo de Weeda et al.¹⁹ apresenta revisão sistemática e metanálise examinando o amplo impacto das mudanças climáticas na saúde infantil. Temperaturas extremas (> 95º percentil da temperatura média diária) e aumento da variabilidade de temperatura estão associados ao aumento de apresentações no departamento de emergência, incidência de asma e risco de doenças respiratórias infecciosas.

Mais pesquisas são necessárias para entender as consequências em longo prazo da exposição ao calor durante a gestação, suas vias biológicas, especialmente em regiões pouco pesquisadas, e também para entender como as desigualdades sociais exacerbam os efeitos da exposição ao calor no útero sobre a saúde da prole.

No caso da exposição à poluição do ar, há evidências mais robustas sobre as consequências da exposição na saúde pós-natal. Uma variedade de condições negativas de saúde é relatada; os efeitos da poluição do ar se estendem além dos resultados imediatos ao nascimento. A exposição gestacional a poluentes tem sido associada a malformações congênitas e aumento das taxas de mortalidade neonatal.²⁰ Uma revisão sistemática²¹ e metanálise foram conduzidas para avaliar evidências recentes sobre a ligação entre poluição do ar e anomalias congênitas (AC). De 11.014 registros, 49 estudos foram incluídos na análise. Os resultados mostraram que para cada aumento de 10 µg/m³ em poluentes atmosféricos, a exposição ao MP₁₀ durante o primeiro mês de gravidez e o primeiro trimestre foi associada a risco maior de AC em geral. Especificamente, a exposição ao MP₁₀ durante o primeiro trimestre foi associada a doença cardíaca congênita (razão de chances [OR] = 1,055) e persistência do canal arterial (OR = 1,094). Além disso, a exposição ao MP₁₀ durante toda a gravidez foi associada a anomalias cromossômicas, enquanto a exposição três meses antes da gravidez e durante os primeiros dois meses foi associada a anomalias do sistema nervoso.

Estudos recentes também vinculam a exposição pré-natal a transtornos do espectro autista (TEA),²² transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH),²³ risco aumentado de eczema²⁴ ou pressão arterial mais alta.²⁵

O estudo de Liu et al.²⁵ é uma revisão sistemática e metanálise que investiga os efeitos da exposição pré e pós-natal a MP na pressão arterial em crianças e adolescentes. A análise incluiu avaliação abrangente de estudos relevantes para determinar a relação entre a exposição a MP e os níveis de pressão arterial entre os jovens. Os resultados indicam que a exposição pré-natal a MP_{2,5} está ligada a aumento na pressão arterial diastólica (PAD) na prole, com aumento médio de 1,14 mmHg para cada aumento de 10 µg/m³ em MP_{2,5} (IC de 95%: 0,12, 2,17). Para exposição pós-natal de curto prazo, uma média de sete dias de MP_{2,5} foi significativamente associada à pressão arterial sistólica (PAS), mostrando aumento de 0,20 mmHg (IC de 95%: 0,16, 0,23) e PAD, que aumentou em 0,49 mmHg (IC de 95%: 0,45, 0,53). Para exposição pós-natal de longo prazo, associações positivas foram encontradas para PAS com MP_{2,5} (β = 0,44, IC de 95%: 0,40, 0,48) e MP₁₀ (β = 0,35, IC de 95%: 0,19, 0,51). A PAD também mostrou aumentos associados a MP₁ (β = 0,45), MP_{2,5} (β = 0,31) e MP₁₀ (β = 0,32). Além disso, houve associação significativa entre exposição a MP e risco de hipertensão; para cada aumento de

unidade em MP, as chances de desenvolver hipertensão aumentaram em fatores de 1,43, 1,65 e 1,26, dependendo da fração de MP considerada. Quanto menor a partícula, maior o risco. Os achados indicam que tanto a exposição pré-natal quanto a pós-natal a MP estão associadas a pressão arterial elevada em crianças e adolescentes. Especificamente, os resultados sugerem que o aumento da exposição ao MP pode levar a aumentos significativos na PAS e PAD.

Embora existam evidências convincentes sobre a associação entre exposição à poluição do ar e obesidade entre adultos, a exposição gestacional está associada à obesidade aos 4 e 6 anos somente se as genitoras tiverem ingestão inadequada de frutas e vegetais.²⁶ Siewert et al.²⁷ descobriram que em locais com baixa poluição geral do ar há pouco ou nenhum impacto da exposição na obesidade infantil, ao contrário de países com níveis mais altos de poluição.

O neurodesenvolvimento também é influenciado negativamente pela exposição pré-natal e no início da vida à poluição do ar. Mudanças na morfologia estrutural²⁸ e deficiências na função intelectual, memória e aprendizagem, atenção e funções executivas, linguagem verbal, capacidade numérica e funções motoras e/ou sensorio-motoras também são afetadas.²⁹

O estudo de Mishra et al.³⁰ fornece informações sobre como a exposição pré-natal à poluição do ar pode influenciar marcadores biológicos associados ao envelhecimento. Sua revisão se concentra em como a exposição a poluentes atmosféricos, particularmente MP_{2,5}, afeta o comprimento do telômero (TL) e o conteúdo de DNA mitocondrial (DNAm_t) em recém-nascidos, que são marcadores críticos do envelhecimento biológico. Estamos envelhecendo antes do nascimento? Informações iniciais sobre a potencial conexão entre poluição do ar pré-natal, comprimento do TL e conteúdo de DNAm_t no nascimento foram derivados da coorte de nascimentos ENVIRONAGE (ENVIRONMENTAL INFLUENCE ON early AGEing). Essa pesquisa indicou que a exposição a MP durante a gravidez estava ligada a TL mais curtos em amostras de sangue do cordão umbilical e da placenta.³¹

Considerações finais

É essencial reconhecer o profundo impacto que fatores ambientais, como poluição do ar e mudanças climáticas, podem ter na saúde materna, no desenvolvimento fetal e na saúde neonatal. Os dados apresentados ressaltam os riscos significativos que a poluição ambiental representa durante a gestação, influenciando não apenas a saúde materna, mas também o bem-estar da criança em curto e longo prazo.

Existem menos evidências para fatores relacionados ao clima;³² há poucos estudos e os achados são inconsistentes. Outra lacuna importante é a escassez de estudos de PBMR. A maioria dos estudos publicados investigou os impactos do clima em países desenvolvidos. Dalugoda et al.³² indicam que se considerarmos que os fatores socioeconômicos são moduladores potenciais desses efeitos, podemos esperar mais riscos à saúde para países de baixa e média renda (PBMR).

De uma perspectiva pediátrica, esse crescente corpo de evidências destaca a necessidade de abordagem multifacetada para proteger a saúde materna e infantil. Igualmente preocupante é o impacto das mudanças climáticas, particularmente eventos extremos de calor e eventos climáticos extremos, que exacerbam os riscos durante a gravidez. A insegurança alimentar relacionada ao clima e as interrupções no acesso à assistência médica não

devem ser esquecidas; todas representam ameaças significativas à saúde materna e neonatal, particularmente em PBMR, onde os recursos de assistência médica podem já ser escassos.

Os pediatras estão em posição especial para defender políticas que mitiguem os riscos ambientais e promovam condições de vida mais saudáveis para mães e crianças. É essencial educar os pais, especialmente as gestantes, sobre os perigos da poluição do ar e das mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que medidas preventivas são incentivadas, como minimizar a exposição a poluentes, garantir nutrição adequada e promover estratégias saudáveis de enfrentamento ao estresse.³³

Além das intervenções em nível individual, os pediatras devem ser participantes ativos na defesa de iniciativas mais amplas de saúde pública que abordem as causas raízes da poluição ambiental. Isso inclui apoiar regulamentações que limitem as emissões, garantindo o acesso ao ar limpo e ambientes seguros e colaborar com os formuladores de políticas para criar sistemas que apoiem a saúde materna e infantil diante dos desafios ambientais.

Conclusão

Estamos observando um início de vida preocupante como resultado das mudanças climáticas e da poluição do ar, com repercussões que podem durar a vida toda. É imperativo que todos tomemos medidas para salvaguardar a saúde das gerações futuras, garantindo ambiente mais saudável para as mães e seus filhos. Esforços coletivos são cruciais para abordar esses desafios e promover o bem-estar de nossas comunidades.

Suporte financeiro

Mariana M. Veras recebe suporte financeiro do CNPq processo no 311576/2022-2.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Editor

P.A.M. Camargos

Referências

1. World Health Organization. Social determinants of health. [Cited 2024 Oct]. Available from: https://www.who.int/health-topics/social-determinants-of-health#tab=tab_1.
2. United Nations Population Fund (UNFPA). Protecting maternal, newborn and child health from the impacts of climate change: A call for action. [Cited 2024 Oct]. Available from: https://www.unfpa.org/sites/default/files/resource-pdf/HRP%20CLIMATE%20CHANGE%20IMPACT_WEB_V18_SPREADS_final.pdf
3. World Health Organization. Children and air pollution. [Cited 2024 Oct]. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf>.
4. Pinho-Gomes AC, Roaf E, Fuller G, Fowler D, Lewis A, ApSimon H, et al. Air pollution and climate change. *Lancet Planet Health*. 2023;7:e727-8.
5. World Health Organization. Exposure to household air pollution for 2016. Version 5 April 2018. Summary of results. Geneva: World Health Organization; 2018. [Cited 2018 Aug]. Available from: <http://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>.

6. United Nations Environment Program (UNEP) & GRID-Arendal. Spreading like wildfire: The rising threat of extraordinary landscape fires. Climate-ADAPT.2022. [Cited 2024 Oct]. Available from: <https://www.unep.org/resources/report/spreading-wildfire-rising-threat-extraordinary-landscape-fires>.
7. Revista Ciência e Cultura. Mudanças climáticas e incêndios florestais: Implicações sobre a saúde. [Cited 2024 Oct]. Available from: <https://revistacienciaecultura.org.br/?artigos=mudancas-climaticas-e-incendios-florestais-implicacoes-sobre-a-saude>.
8. Mazumder H, Rimu FH, Shimul MH, Das J, Gain EP, Liaw W, et al. Maternal health outcomes associated with ambient air pollution: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Sci Total Environ*. 2024;914:169792.
9. Liang Y, Li M, Lyu Q, Li P, Lyu Y, Yu Y, et al. The relationship between maternal exposure to ambient air pollutants and premature rupture of membranes: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut*. 2024;347:123611.
10. Veras M, Waked D, Saldiva P. Safe in the womb? Effects of air pollution to the unborn child and neonates. *J Pediatr (Rio J)*. 2022;98:S27-31.
11. Pappas A, Kovats S, Ranganathan M. Extreme weather events and maternal health in low-income and middle-income countries: A scoping review. *BMJ Open*. 2024;14:e079361.
12. Veenema RJ, Hoepner LA, Geer LA. Climate change-related environmental exposures and perinatal and maternal health outcomes in the U.S. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20:1662.
13. Parasin N, Amnuaylojaroen T, Saokaew S. Prenatal PM_{2.5} exposure and its association with low birth weight: a systematic review and meta-analysis. *Toxics*. 2024;12:446.
14. Huang Z, Wu J, Qiu Y, Lin J, Huang W, Ma X, et al. Association between gestational exposure and risk of orofacial clefts: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2023;23:829.
15. Gholami Shahrehabak M, Mobasheri-Shiri M, Hesari M, Mollaamin Z, Gholami Shahrehabak A. Associations between exposure to air pollutants and in vitro fertilization outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Health Res*. 2024;1-13. doi: 10.1080/09603123.2024.2391466. Online ahead of print.
16. Chersich MF, Pham MD, Areal A, Haghighi MM, Manyuchi A, Swift CP, et al. Associations between high temperatures in pregnancy and risk of preterm birth, low birth weight, and stillbirths: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2020;371:m3811.
17. Daba C, Asmare L, Demeke Bayou F, Arefaynie M, Mohammed A, Tareke AA, et al. Exposure to indoor air pollution and adverse pregnancy outcomes in low and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Front Public Health*. 2024;12:1356830.
18. Brink N, Lakhoo DP, Solarin I, Maimela G, von Dadelszen P, Norris S, et al. Impacts of heat exposure in utero on long-term health and social outcomes: a systematic review. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2024;24:344.
19. Weeda LJ, Bradshaw CJ, Judge MA, Saraswati CM, Le Souëf PN. How climate change degrades child health: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2024;920:170944.
20. Luben TJ, Wilkie AA, Krajewski AK, Njie F, Park K, Zelasky S, et al. Short-term exposure to air pollution and infant mortality: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2023;898:165522.
21. Feng Y, Liu X, Zhang X, Zhao X, Chang H, Ouyang F, et al. Global air pollution exposure and congenital anomalies: an updated systematic review and meta-analysis of epidemiological studies. *Int J Environ Health Res*. 2024;34:2333-52.
22. Amnuaylojaroen T, Parasin N, Saokaew S. Exploring the association between early-life air pollution exposure and autism spectrum disorders in children: A systematic review and meta-analysis. *Reprod Toxicol*. 2024;125:108582.
23. Zhao J, He T, Wang F, et al. Association of prenatal and postnatal exposure to air pollution with clinically diagnosed attention deficit hyperactivity disorder: a systematic review. *Front Public Health*. 2024;12:1396251.
24. Feng Y, Liu X, Zhang X, Zhao X, Chang H, Ouyang F, et al. Prenatal exposure to air pollution and the risk of eczema in childhood: a systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res*. 2022;29:48233-49.
25. Liu Y, Li Y, Xu H, Zhao X, Zhu Y, Zhao B, et al. Pre- and postnatal particulate matter exposure and blood pressure in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2023;223:115373.
26. Margetaki K, Bempi V, Michalaki E, Roumeliotaki T, Iakovidis M, Stephanou E, et al. Prenatal air pollution exposure and childhood obesity: effect modification by maternal fruits and vegetables intake. *Int J Hyg Environ Health*. 2024;256:114314.
27. Siewert B, Kozajda A, Jaskulak M, Zorena K. Examining the link between air quality (PM, SO₂, NO₂, PAHs) and childhood obesity: A systematic review. *J Clin Med*. 2024;13:5605.
28. Herting MM, Younan D, Campbell CE, Chen JC. Outdoor air pollution and brain structure and function from across childhood to young adulthood: a methodological review of brain MRI studies. *Front Public Health*. 2019;7:332.
29. Castagna A, Mascheroni E, Fustinoni S, Montirosso R. Air pollution and neurodevelopmental skills in preschool- and school-aged children: A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev*. 2022;136:104623.
30. Mishra S, Stukken CV, Drury S, Nawrot TS, Martens DS. Prenatal air pollution exposure in relation to the telomere-mitochondrial axis of aging at birth: A systematic review. *Environ Res*. 2024;244:117990.
31. Martens DS, Cox B, Janssen BG, Clemente DB, Gasparini A, Vanpoucke C, et al. Prenatal air pollution and newborns' predisposition to accelerated biological aging. *JAMA Pediatr*. 2017;171:1160-7.
32. Dalugoda Y, Kuppa J, Phung H, Rutherford S, Phung D. Effect of elevated ambient temperature on maternal, foetal, and neonatal outcomes: A scoping review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19:1771.
33. Fan W, Zlatnik MG. Climate change and pregnancy: risks, mitigation, adaptation, and resilience. *Obstet Gynecol Surv*. 2023;78:223-36.