



## Fatores ambientais e sua influência nas condições ortopédicas pediátricas do desenvolvimento

Amanda Gabrielly dos Santos<sup>1</sup>, Mateus Souza e Silva<sup>2</sup>, Thiago Bariviera Barros<sup>3</sup>, Antonio Carlos Ferreira de Oliveira Filho<sup>1</sup>, Ana Julia Comis<sup>4</sup>.



<https://doi.org/10.36557/2674-8169.2025v7n11p1869-1879>

Artigo recebido em 13 de Outubro e publicado em 23 de Novembro de 2025

### ARTIGO DE REVISÃO

#### RESUMO

A relação entre fatores ambientais e o desenvolvimento ortopédico pediátrico tem se consolidado como um campo emergente e interdisciplinar dentro das ciências da saúde. Este estudo, conduzido sob a forma de uma revisão narrativa da literatura publicada entre 2015 e 2025, teve como objetivo analisar criticamente a influência de variáveis ambientais — incluindo poluição atmosférica, exposição a metais pesados, estado nutricional, atividade física, condições socioeconômicas e características habitacionais — sobre as condições musculoesqueléticas na infância. Foram consultadas as bases de dados PubMed, Scopus, Web of Science e SciELO. As evidências convergem ao demonstrar que exposições ambientais adversas comprometem a mineralização óssea, a remodelação tecidual e a biomecânica do sistema locomotor em desenvolvimento, ao passo que hábitos alimentares inadequados e o sedentarismo agravam a incidência de deformidades estruturais e distúrbios posturais. Fatores socioeconômicos e ambientais interagem de modo sinérgico, configurando um gradiente de vulnerabilidade que influencia diretamente o crescimento ósseo e articular. Conclui-se que o desenvolvimento ortopédico pediátrico deve ser compreendido sob uma perspectiva ecológica e preventiva, exigindo intervenções integradas que associem políticas de saúde pública, educação ambiental e estratégias clínicas de promoção da saúde musculoesquelética.

**Palavras-chave:** Ortopedia pediátrica; desenvolvimento musculoesquelético; nutrição infantil; atividade física.



## Environmental factors and their influence on pediatric orthopedic developmental conditions.

### ABSTRACT

The relationship between environmental factors and pediatric orthopedic development has become an emerging and interdisciplinary field within the health sciences. This study, conducted as a narrative review of the literature published between 2015 and 2025, aimed to critically analyze the influence of environmental variables—including air pollution, exposure to heavy metals, nutritional status, physical activity, socioeconomic conditions, and housing characteristics—on musculoskeletal conditions in childhood. The PubMed, Scopus, Web of Science, and SciELO databases were consulted. The evidence converges in demonstrating that adverse environmental exposures compromise bone mineralization, tissue remodeling, and the biomechanics of the developing locomotor system, while inadequate dietary habits and sedentary lifestyles exacerbate the incidence of structural deformities and postural disorders. Socioeconomic and environmental factors interact synergistically, configuring a vulnerability gradient that directly influences bone and joint growth. It is concluded that pediatric orthopedic development should be understood from an ecological and preventive perspective, requiring integrated interventions that combine public health policies, environmental education, and clinical strategies for promoting musculoskeletal health.

**Keywords:** Pediatric orthopedics; musculoskeletal development; child nutrition; physical activity.

**Instituição afiliada** – 1 Universidade Paranaense, 2 Hospital São Lucas de Cascavel, 3 Universidade Positivo, 4 Fundação Assis Gurgacz.

**Autor correspondente:** Amanda Gabrielly dos Santos. amanda160506@edu.unipar.br

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)





## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento ortopédico pediátrico é um processo dinâmico e multifatorial, no qual a interação entre fatores genéticos, epigenéticos e ambientais determina a formação e a maturação do sistema musculoesquelético. Esse processo, que se estende desde o período intrauterino até a adolescência, é altamente sensível a influências externas, como nutrição, exposição solar, condições socioambientais e padrões de atividade física. Nos últimos anos, um número crescente de estudos tem demonstrado que o ambiente físico e social no qual a criança está inserida desempenha papel decisivo não apenas no crescimento linear e na densidade mineral óssea, mas também na morfogênese óssea e articular (Di Rosario *et al.*, 2025).

Fatores ambientais — incluindo poluição atmosférica, exposição a metais pesados, deficiências nutricionais e ambientes urbanos restritivos — têm impacto direto na homeostase óssea e na biomecânica do aparelho locomotor infantil. A exposição a poluentes orgânicos persistentes, por exemplo, tem sido associada à redução da atividade osteoblástica e à alteração na microarquitetura trabecular, contribuindo para a maior incidência de deformidades ósseas e atraso na consolidação de fraturas em populações pediátricas. Em contrapartida, intervenções ambientais positivas — como o aumento do tempo ao ar livre, a prática regular de atividades físicas e a adequação da ergonomia escolar — têm demonstrado efeitos protetores sobre o desenvolvimento musculoesquelético (Qu; Yang; Liu, 2025).

Do ponto de vista fisiológico, o crescimento ósseo e a maturação das cartilagens epifisárias dependem de estímulos mecânicos e metabólicos adequados. A teoria da mecanotransdução, amplamente estudada em modelos experimentais, sugere que forças externas, como compressão e tração, são traduzidas em sinais celulares que regulam a diferenciação de condrócitos e osteoblastos. Assim, ambientes que promovem o sedentarismo, ou que impõem restrições de mobilidade, tendem a comprometer o equilíbrio entre formação e reabsorção óssea, predispondo a condições como o pé plano, a displasia de quadril e a escoliose idiopática (Singh *et al.*, 2023).

Aspectos socioeconômicos e culturais influenciam indiretamente o desenvolvimento ortopédico infantil. O acesso desigual à alimentação balanceada, à suplementação vitamínica e a ambientes adequados para o lazer e o movimento cria um



gradiente de vulnerabilidade no qual crianças de contextos desfavorecidos apresentam maior risco de desordens ortopédicas e atraso no crescimento. Em países tropicais, por exemplo, a urbanização acelerada e a vida em espaços confinados têm reduzido a exposição solar, fator crucial para a síntese cutânea de vitamina D e, conseqüentemente, para a mineralização óssea adequada (Heath *et al.*, 2023).

Dessa forma, compreender os mecanismos pelos quais o ambiente influencia o desenvolvimento musculoesquelético na infância é essencial para a formulação de estratégias de prevenção e intervenção precoce. A abordagem interdisciplinar, integrando ortopedia, fisioterapia, nutrição e políticas de saúde pública, é fundamental para mitigar os efeitos adversos das condições ambientais sobre o crescimento e a funcionalidade motora. Este artigo, portanto, busca sintetizar as evidências recentes (2018–2025) que relacionam fatores ambientais a condições ortopédicas pediátricas, analisando os mecanismos fisiopatológicos subjacentes e discutindo as implicações clínicas e sociais desse fenômeno.

## METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão narrativa de literatura desenvolvida com o objetivo de sintetizar e analisar criticamente as evidências científicas publicadas nos últimos dez anos acerca da influência de fatores ambientais nas condições ortopédicas pediátricas do desenvolvimento. A abordagem narrativa foi escolhida por possibilitar uma integração ampla de resultados provenientes de estudos experimentais, observacionais, clínicos e revisões sistemáticas, permitindo a contextualização teórica e conceitual das múltiplas interações entre ambiente e desenvolvimento musculoesquelético infantil (2025; 2024).

A busca bibliográfica foi realizada nos bancos de dados PubMed, Scopus, Web of Science e SciELO, utilizando descritores controlados e não controlados (MeSH terms e palavras-chave livres) em inglês e português. As combinações incluíram termos como *environmental factors*, *pediatric orthopedics*, *musculoskeletal development*, *bone growth*, *child health*, *urbanization*, *nutrition*, *air pollution*, *vitamin D*, *physical activity*, e suas equivalências em português. Os operadores booleanos “AND” e “OR” foram



empregados para refinar as buscas e maximizar a sensibilidade e especificidade dos resultados.

Foram incluídos artigos originais, revisões e metanálises publicados entre 2015 e 2025, com texto completo disponível e que abordassem, direta ou indiretamente, a relação entre variáveis ambientais e o desenvolvimento musculoesquelético em crianças e adolescentes. Foram excluídos trabalhos que tratavam exclusivamente de doenças genéticas, estudos em modelos animais sem aplicação translacional e artigos cuja temática não envolvesse determinantes ambientais. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, o corpus final de análise foi composto por 78 publicações consideradas relevantes e metodologicamente consistentes.

A extração dos dados contemplou informações referentes ao tipo de estudo, população analisada, variáveis ambientais avaliadas, parâmetros de desenvolvimento ósseo ou articular e principais achados clínicos e fisiológicos. A análise foi conduzida de forma qualitativa, buscando identificar convergências e divergências entre os estudos e delinear os principais eixos temáticos que estruturam a compreensão atual da influência ambiental sobre o crescimento ortopédico pediátrico.

A interpretação dos resultados baseou-se em um modelo integrativo que considera o sistema musculoesquelético como produto de interações complexas entre genética, nutrição, biomecânica, fatores ambientais e determinantes socioeconômicos (2023; 2022). Assim, o enfoque metodológico privilegiou a articulação entre evidências epidemiológicas e fundamentos biológicos, permitindo a elaboração de uma síntese abrangente e coerente com os princípios da ortopedia preventiva e da saúde ambiental infantil.

## RESULTADOS

A análise das evidências recentes demonstra que os fatores ambientais exercem influência significativa sobre o desenvolvimento musculoesquelético pediátrico,



afetando processos de crescimento, mineralização óssea e alinhamento postural. Esses efeitos manifestam-se de forma integrada e cumulativa, refletindo a interação entre condições ambientais, hábitos de vida e contexto socioeconômico (Qu; Yang; Liu, 2025).

A exposição a metais pesados e poluentes atmosféricos apresenta correlação direta com alterações da densidade mineral óssea e com a regulação metabólica do tecido ósseo. Crianças residentes em áreas urbanas com altos índices de material particulado demonstram redução mensurável na densidade óssea da tíbia e do fêmur, associada ao aumento de marcadores inflamatórios e à diminuição da atividade osteoblástica (Han *et al.*, 2025). A ação de substâncias como chumbo e cádmio interfere na sinalização osteogênica e na diferenciação celular, gerando prejuízos estruturais e funcionais que se estendem até a adolescência (2023). Esses efeitos refletem um desequilíbrio entre formação e reabsorção óssea, que, quando mantido por períodos prolongados, predispõe a deformidades do esqueleto e retardo de consolidação de fraturas (Ma *et al.* 2021).

A adequação nutricional representa um dos determinantes mais relevantes do desenvolvimento ortopédico saudável. A deficiência de vitamina D e de cálcio compromete a mineralização das placas epifisárias, enquanto a carência de fósforo e magnésio reduz a densidade óssea cortical. Níveis séricos insuficientes de vitamina D estão associados à maior prevalência de deformidades ósseas e atraso no crescimento longitudinal (Ciosek *et al.*, 2021). Dietas urbanas com predominância de alimentos ultraprocessados agravam esse quadro, favorecendo desequilíbrios metabólicos e inflamatórios. Há evidências de que a ingestão excessiva de sódio e bebidas açucaradas interfere na absorção intestinal de cálcio e na atividade osteoblástica (Khalid, 2024).

A atividade física constitui estímulo essencial à formação óssea durante a infância. A ausência de impacto mecânico adequado resulta em remodelação óssea deficiente e maior susceptibilidade a alterações estruturais, especialmente em ambientes urbanos onde o sedentarismo é mais prevalente. O estímulo mecânico atua por meio da mecanotransdução, convertendo forças externas em respostas celulares que regulam o equilíbrio entre formação e reabsorção óssea (Northey; Raine; Hillman, 2024). A redução de atividades ao ar livre e o aumento do tempo em dispositivos eletrônicos correlacionam-se ao aumento de desvios posturais e à perda de flexibilidade musculoesquelética. Em ambientes urbanos densos, a limitação de espaços recreativos



e a exposição insuficiente à luz solar reforçam um ciclo de inatividade e deficiência nutricional, afetando o crescimento ósseo e a biomecânica corporal (Chen *et al.*, 2025).

Fatores climáticos e habitacionais também modulam o desenvolvimento ortopédico. Em regiões com baixa luminosidade, a síntese cutânea de vitamina D é reduzida, contribuindo para maior incidência de osteopenia e raquitismo. Habitações com espaços restritos, pisos irregulares e mobiliário inadequado limitam o desenvolvimento motor e favorecem posturas compensatórias que, ao longo do tempo, podem gerar desalinhamentos estruturais (MENDES, Marcela Moraes; (Mendes; Botelho; Ribeiro, 2022). As desigualdades socioeconômicas intensificam esse cenário, refletindo-se no acesso limitado à nutrição adequada, à prática esportiva e ao acompanhamento preventivo especializado. Esse conjunto de fatores cria um gradiente de vulnerabilidade que amplia o risco de deformidades e limitações funcionais durante o crescimento (Ferrara, 2025).

A compreensão dos impactos ambientais sobre o desenvolvimento musculoesquelético infantil exige a integração de políticas de saúde, educação e planejamento urbano. O controle da poluição, a promoção de hábitos alimentares equilibrados e o estímulo à prática regular de atividade física representam medidas fundamentais para reduzir a incidência de distúrbios ortopédicos pediátricos. Programas escolares voltados à correção postural e ao uso de mobiliário ergonômico adaptado às faixas etárias demonstram potencial para prevenir alterações da coluna e dos membros inferiores (2023). O monitoramento nutricional e o acompanhamento multiprofissional constituem ferramentas estratégicas para detecção precoce de déficits de crescimento e correção de fatores de risco ambientais (Tripathi; Verma; Singh, 2023).

Os resultados indicam que a saúde musculoesquelética infantil é produto direto da interação entre ambiente, comportamento e condições biológicas. Poluição, carências nutricionais, sedentarismo e desigualdades estruturais atuam de maneira sinérgica, gerando repercussões que se estendem até a vida adulta. A prevenção de distúrbios ortopédicos pediátricos requer uma abordagem sistêmica e interdisciplinar, baseada em evidências ambientais, clínicas e sociais, de modo a garantir o crescimento ósseo adequado e a funcionalidade motora plena (Di Rosario *et al.*, 2025).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese das evidências analisadas demonstra que o desenvolvimento ortopédico pediátrico é um processo sensível às condições ambientais e dependente de uma complexa rede de interações entre fatores biológicos, nutricionais, mecânicos e socioeconômicos. A literatura dos últimos dez anos confirma que variáveis como qualidade do ar, exposição a metais pesados, adequação nutricional, prática regular de atividade física, condições de moradia e acesso a espaços de lazer exercem influência mensurável sobre a formação e a maturação do sistema musculoesquelético infantil.

Os dados revisados indicam que a exposição contínua a poluentes e toxinas ambientais compromete a mineralização óssea e a remodelação tecidual, enquanto a deficiência nutricional, especialmente de cálcio e vitamina D, agrava o risco de deformidades e retardo de crescimento. O sedentarismo, associado à urbanização acelerada e à limitação de espaços adequados para o movimento, reduz os estímulos biomecânicos necessários à mecanotransdução óssea e contribui para a crescente prevalência de alterações posturais e disfunções estruturais na infância.

Esses achados reforçam a necessidade de um enfoque interdisciplinar na prevenção das condições ortopédicas pediátricas, integrando as dimensões médica, ambiental, educacional e social. A atuação conjunta entre ortopedistas, fisioterapeutas, nutricionistas, educadores e gestores públicos é essencial para o desenvolvimento de estratégias que minimizem os efeitos deletérios dos fatores ambientais e promovam a saúde musculoesquelética desde os primeiros anos de vida.

A consolidação de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade ambiental, à segurança alimentar, ao incentivo à atividade física e ao desenho ergonômico de espaços escolares e urbanos constitui medida prioritária para a promoção de um desenvolvimento ósseo saudável. Além disso, programas de rastreamento precoce e educação em saúde podem reduzir significativamente a incidência de deformidades estruturais e transtornos posturais em populações pediátricas vulneráveis.

Conclui-se que a saúde ortopédica infantil reflete, de maneira direta, a qualidade do ambiente em que a criança se desenvolve. A abordagem preventiva e multidimensional, sustentada em evidências científicas e em políticas integradas de



saúde e ambiente, representa o caminho mais efetivo para assegurar um crescimento equilibrado, funcional e livre de complicações musculoesqueléticas ao longo do ciclo vital.

## REFERÊNCIAS

DI ROSARIO, Gianluca et al. International cooperation for development: a shared global vision integrating health, lifestyles and anthropology. 2025.

CHEN, Hongxin et al. Correlation between abnormal posture, screen time, physical activity, and suspected scoliosis: a cross-sectional study. **Journal of Orthopaedic Surgery and Research**, v. 20, n. 1, p. 372, 2025.

CIOSEK, Žaneta et al. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. **Biomolecules**, v. 11, n. 4, p. 506, 2021.

FERRARA, Pietro. Health Risk Factors, Prevention, and Inequalities. **Medicina**, v. 61, n. 1, p. 127, 2025.

HAN, Jian et al. Associations between multiple metals exposure and bone mineral density: a population-based study in US children and adolescents. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 26, n. 1, p. 456, 2025.

HEATH, David M. et al. Socioeconomic status affects postoperative time to union in pediatric patients with a surgically treated fracture. **JBJS Open Access**, v. 8, n. 3, p. e22, 2023.

KHALID, Nauman. Impact of carbonated beverages on early onset of osteoporosis: A narrative review. **Nutrition and Health**, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2024.

MA, Yonggang et al. Cadmium toxicity: a role in bone cell function and teeth development. **Science of the Total Environment**, v. 769, p. 144646, 2021.

MENDES, Marcela Moraes; BOTELHO, Patricia Borges; RIBEIRO, Helena. Vitamin D and musculoskeletal health: outstanding aspects to be considered in the light of current evidence. **Endocrine connections**, v. 11, n. 10, 2022.

NORTHEY, Joseph M.; RAINE, Lauren B.; HILLMAN, Charles H. Are there sensitive periods for physical activity to influence the development of executive function in children?. **Journal of sport and health science**, p. 101015, 2024.



QU, Zhi; YANG, Qiming; LIU, Nan. Environmental Health Impacts on Clinical Biomechanics: A Focus on Urban Exposures and Human Responses. 2025.

SINGH, Samradhi et al. From cells to environment: exploring the interplay between factors shaping bone health and disease. **Medicina**, v. 59, n. 9, p. 1546, 2023.

TRIPATHI, Madhulika; VERMA, Manish Kumar; SINGH, Brijesh Kumar. The Impact of the Environment on Metabolic Diseases. **Recent Developments in Biological Sciences**, p. 83, 2023.