

Ecologia de doenças: interações entre ambiente, patógenos e hospedeiros

Disease ecology: interactions among environment, pathogens, and hosts

Ecología de las enfermedades: interacciones entre el medio ambiente, los patógenos y los huéspedes

DOI: 10.5281/zenodo.17290916

Recebido: 28 set 2025

Aprovado: 07 out 2025

Jéssica Thainara Souza dos Santos

Enfermagem

Centro Universitário Maurício de Nassau - Caruaru

jessicathainara002@gmail.com

Laís Vitória Sampaio da Silva

Enfermagem

Centro Universitário Maurício de Nassau - Caruaru

laisvitoriasampaiodasilva@gmail.com

Raquel Cavalcanti da Silva

Enfermagem

Centro Universitário Maurício de Nassau - Caruaru

raquelcavalcanttii@gmail.com

Denise Cândida da Silva

Enfermagem

Centro Universitário Maurício de Nassau - Caruaru

denisecandida714@gmail.com

Luan Antônio dos Santos Cabral

Licenciatura em Ciências Biológicas

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

luan.ascabral@outlook.com

Resumo

A ecologia de doenças constitui um campo interdisciplinar fundamental para compreender como processos ecológicos e sociais moldam a emergência, a manutenção e a disseminação de patógenos. Este estudo, desenvolvido como revisão narrativa de literatura, analisou publicações recentes em periódicos de alto impacto que investigam os efeitos da perda de biodiversidade, das mudanças no uso da terra, das alterações climáticas e da vulnerabilidade social sobre a dinâmica de doenças infecciosas. Os resultados demonstram que a redução da diversidade biológica pode intensificar a transmissão de doenças por meio da diminuição do efeito de diluição, enquanto processos como desmatamento e urbanização favorecem o contato entre humanos, vetores e animais silvestres, ampliando o risco de zoonoses. As mudanças climáticas, por sua vez, alteram a distribuição geográfica de vetores e ampliam a adequação ambiental para diferentes patógenos. Observa-se ainda que populações em maior vulnerabilidade social sofrem impactos desproporcionais em cenários de emergência epidemiológica. Conclui-se que a compreensão da ecologia de doenças exige uma perspectiva integradora, articulada pela abordagem de Uma Só Saúde (One Health), que reconheça a interdependência entre saúde humana, animal e ambiental.

Palavras-chave: Biodiversidade; Doenças infecciosas; Mudanças climáticas; One Health; Zoonoses.

Abstract

Disease ecology is a fundamental interdisciplinary field for understanding how ecological and social processes shape the emergence, persistence, and spread of pathogens. This study, developed as a narrative literature review, analyzed recent publications in high-impact journals investigating the effects of biodiversity loss, land-use changes, climate change, and social vulnerability on the dynamics of infectious diseases. Findings demonstrate that reduced biological diversity can intensify disease transmission through the weakening of the dilution effect, while processes such as deforestation and urbanization foster closer contact between humans, vectors, and wildlife, increasing the risk of zoonoses. Climate change, in turn, alters the geographic distribution of vectors and expands environmental suitability for different pathogens. Furthermore, socially vulnerable populations are disproportionately affected in scenarios of epidemiological emergence. It is concluded that understanding disease ecology requires an integrative perspective, grounded in the One Health approach, which acknowledges the interdependence between human, animal, and environmental health.

Keywords: Biodiversity; Climate change; Infectious diseases; One Health; Zoonoses.

Resumen

La ecología de enfermedades es un campo interdisciplinario fundamental para comprender cómo los procesos ecológicos y sociales influyen en la emergencia, el mantenimiento y la propagación de patógenos. Este estudio, desarrollado como una revisión narrativa de la literatura, analizó publicaciones recientes en revistas de alto impacto que investigan los efectos de la pérdida de biodiversidad, el cambio de uso del suelo, el cambio climático y la vulnerabilidad social en la dinámica de las enfermedades infecciosas. Los resultados demuestran que la reducción de la diversidad biológica puede intensificar la transmisión de enfermedades al reducir el efecto de dilución, mientras que procesos como la deforestación y la urbanización favorecen el contacto entre humanos, vectores y animales silvestres, aumentando el riesgo de zoonosis. El cambio climático, a su vez, altera la distribución geográfica de los vectores y aumenta la idoneidad ambiental para diferentes patógenos. También se observa que las poblaciones con mayor vulnerabilidad social sufren impactos desproporcionados en escenarios de emergencia epidemiológica. Se concluye que comprender la ecología de enfermedades requiere una perspectiva integradora, articulada por el enfoque Una Salud, que reconoce la interdependencia entre la salud humana, animal y ambiental.

Palabras clave: Biodiversidad; Enfermedades infecciosas; Cambio climático; Una Salud; Zoonosis.

1. INTRODUÇÃO

A ecologia de doenças emerge como uma disciplina transdisciplinar que busca compreender como os componentes bióticos e abióticos do ambiente interagem com patógenos e hospedeiros para moldar padrões espaciais e temporais de transmissão (Ostfeld, 2018). O ambiente modula fortemente esses processos, influenciando desde a distribuição de vetores até a estruturação de comunidades de patógenos (The Lancet Infectious Diseases, 2019). Recentemente, revisões especializadas têm destacado a importância da ecologia de comunidades para abordar a complexidade inerente aos sistemas multihospedeiro e multipatogênicos (Johnson et al., 2013), ampliando as possibilidades de intervenção com base em abordagens tanto defensivas (redução da adequação do hospedeiro) quanto ofensivas (controle de superspreaders ou redução de contatos entre humanos e vida selvagem).

Além disso, abordagens macroecológicas têm demonstrado que mudanças na biodiversidade e na estrutura dos ecossistemas podem ter efeitos heterogêneos sobre a transmissão de doenças: embora muitas hipóteses sustentem que maior biodiversidade produz efeito de diluição, evidências em sistemas marinhos mostram que a perda de biodiversidade pode reduzir certos parasitas ao eliminar hospedeiros exigentes, enquanto outros se beneficiam da redução de competidores (Young et al., 2014). Complementarmente, estudos focados em zoonoses com persistência ambiental revelaram que patógenos capazes de sobreviver no meio ambiente (por exemplo, *Bacillus anthracis*, *Cryptosporidium*, helmintos) impõem desafios únicos à prevenção, exigindo integração entre ecologia, saúde pública e manejo ambiental (The Lancet Planetary Health, 2021).

Dessa forma, a presente revisão se propõe a integrar essas abordagens emergentes — ecologia de comunidades, macroecologia e persistência ambiental — com os mecanismos amplamente discutidos nos resultados (como perda de biodiversidade, uso da terra e clima), oferecendo uma perspectiva sistêmica para entender e enfrentar o surgimento e a propagação de doenças infecciosas em contextos socioecológicos dinâmicos.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido como uma revisão narrativa de literatura, com o objetivo de integrar evidências empíricas e conceituais sobre a ecologia de doenças, destacando a interação entre ambiente, hospedeiros e patógenos em diferentes contextos socioecológicos. A busca por artigos concentrou-se em bases e periódicos de alto impacto internacional, como Science, Nature, The Lancet, The Lancet Planetary Health, Science Advances, The Lancet Infectious Diseases e American Journal of Tropical Medicine and

Higiene, privilegiando estudos que abordassem os vínculos entre biodiversidade, mudanças no uso da terra, alterações climáticas, vulnerabilidade social e dinâmica de transmissão de doenças.

Foram considerados relevantes trabalhos de natureza diversa, incluindo revisões teóricas, análises de séries históricas e bancos de dados globais, estudos de campo observacionais, modelagens climáticas e investigações macroecológicas. A seleção ocorreu a partir de descritores como disease ecology, biodiversity and infectious diseases, zoonotic spillover, land-use change and disease e climate change and vector-borne diseases, com posterior análise de referências cruzadas em artigos-chave que consolidaram o campo, como os de Ostfeld (2018), Johnson et al. (2013) e Daszak et al. (2000).

A triagem foi guiada por critérios de inclusão que privilegiaram estudos que discutissem explicitamente o papel da biodiversidade e da estrutura de comunidades na transmissão de patógenos, a influência das mudanças ambientais sobre o risco de zoonoses, a persistência de agentes infecciosos no ambiente e as interações entre fatores climáticos e epidemiológicos. Também foram incorporados artigos que adotassem a perspectiva One Health, abordando as conexões entre saúde humana, animal e ambiental.

Após a seleção, os trabalhos foram analisados qualitativamente, sendo organizados em categorias temáticas que permitiram articular as evidências de diferentes disciplinas. A síntese foi estruturada em quatro eixos principais: (a) biodiversidade e transmissão de doenças; (b) mudanças no uso da terra e risco epidemiológico; (c) efeitos das mudanças climáticas sobre vetores e patógenos; e (d) vulnerabilidade socioecológica e integração conceitual pela abordagem One Health. Essa organização possibilitou relacionar dados de campo, análises globais e reflexões teóricas em uma narrativa coerente, voltada a compreender como a ecologia de doenças pode subsidiar estratégias de prevenção e mitigação em escala local e global.

3. RESULTADOS

A presente revisão de literatura evidencia que a ecologia de doenças é moldada por múltiplas interações entre fatores ambientais, patógenos e hospedeiros, sendo fortemente influenciada por processos de perda de biodiversidade, mudanças no uso da terra, alterações climáticas e contextos socioeconômicos de vulnerabilidade. Um dos eixos centrais é o chamado efeito de diluição, segundo o qual a redução da diversidade de hospedeiros tende a aumentar a transmissão de patógenos. Keesing et al. (2010), em revisão publicada na Nature, demonstraram que a perda de biodiversidade frequentemente favorece hospedeiros mais competentes, intensificando a circulação de agentes infecciosos. Esse achado é corroborado por análises sobre doenças emergentes em escala global. Jones et al. (2008), em estudo também na Nature, mostraram que cerca de 60% dos eventos de emergência registrados entre 1940 e 2004 eram zoonóticos,

dos quais 72% tiveram origem em espécies silvestres, com maior concentração em regiões tropicais de alta transformação antrópica.

Além da perda de biodiversidade, as mudanças no uso da terra aparecem como um fator-chave no aumento do risco de surgimento de doenças. Daszak et al. (2000), em artigo seminal na *Science*, classificaram três rotas principais de emergência em fauna: transbordamento de animais domésticos para silvestres, translocações mediadas por humanos (de hospedeiros ou parasitas) e emergências sem envolvimento humano direto. Estudos recentes reforçam que mudanças frequentes no uso da terra, como desmatamento e expansão agrícola, elevam a probabilidade de surtos com potencial epidêmico ou pandêmico (Karwowski et al., 2025, *Science Advances*). O desmatamento na Amazônia é um exemplo paradigmático: Vittor et al. (2006), em pesquisa de campo publicada no *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, identificaram que áreas desmatadas apresentaram taxas significativamente mais altas de picadas humanas por *Anopheles darlingi*, vetor primário da malária na região.

O clima desempenha outro papel central ao modificar a distribuição e a adequação de vetores e patógenos. Relatórios recentes do *Lancet Countdown* (2023–2024) e artigos no *The Lancet* documentaram a expansão da adequação climática para o vírus da dengue transmitido por *Aedes aegypti* e *A. albopictus*, que aumentou substancialmente desde a década de 1950. Esse padrão não se restringe ao dengue: malária, vírus do Nilo Ocidental e infecções por *Vibrio* também vêm sendo influenciadas pelas mudanças climáticas, conforme discutido em revisões recentes na *The Lancet Planetary Health* (Aguirre et al., 2024).

Outro achado importante está ligado à vulnerabilidade socioecológica. Carlson et al. (2022), em análise publicada na *Science Advances*, demonstraram que padrões de uso da terra que ampliam vulnerabilidades sociais — como urbanização rápida e infraestrutura precária — também elevam o risco de transmissão zoonótica. Ou seja, os fatores ambientais se entrelaçam com desigualdades socioeconômicas, produzindo hotspots onde a probabilidade de transbordamento é maximizada.

Esses resultados apontam para a necessidade de abordagens integradoras, como a perspectiva de Uma Só Saúde (One Health), que articula dimensões ecológicas, sociais e de saúde pública. O conjunto de evidências revisadas indica que a perda de biodiversidade, o desmatamento, a urbanização acelerada e as mudanças climáticas não apenas transformam ecossistemas, mas também criam novas condições de risco epidemiológico, aumentando tanto a frequência quanto a intensidade de surtos infecciosos.

A seguir, apresenta-se uma tabela de síntese com os principais estudos revisados, destacando mecanismos, sistemas avaliados, achados centrais e periódicos de publicação.

Tabela 1. Síntese de estudos-chave sobre ecologia de doenças, mecanismos ambientais e implicações epidemiológicas

Tema / Mecanismo	Sistema/Exemplo	Achado principal	Tipo de estudo	Periódico (ano)	Citação curta
Perda de biodiversidade e risco de doença (efeito de diluição)	Vários (humanos, animais, plantas)	Redução de diversidade frequentemente aumenta a transmissão de patógenos	Revisão	<i>Nature</i> (2010)	Keesing et al., 2010
Tendências globais de doenças emergentes	335 eventos de DEs (1940–2004)	≈60% das DEs são zoonoses; ~72% originam em vida selvagem; hotspots em regiões tropicais	Análise global	<i>Nature</i> (2008)	Jones et al., 2008
EIDs da vida selvagem e caminhos de emergência	Classificação em 3 grupos (spillover, translocações, sem envolvimento humano direto)	Interação humano-animal e translocações impulsionam emergências	Perspectiva	<i>Science</i> (2000)	Daszak et al., 2000
Desmatamento e vetores de malária	<i>Anopheles darlingi</i> – Amazônia peruana	Desmatamento aumenta taxa de picadas humanas do vetor primário	Estudo de campo	<i>Am. J. Trop. Med. Hyg.</i> (2006)	Vittor et al., 2006
Clima e expansão do dengue	R0 climático, América/Europa/Global	Potencial de transmissão por <i>Aedes</i> ↑ desde 1950; risco expandindo-se	Relatórios e modelagem	<i>The Lancet / Lancet Countdown</i> (2023–2024)	Lancet Countdown, 2024
Uso da terra e risco de surtos	Diversas zoonoses	Mudanças frequentes de uso da terra ↑ risco de surtos com potencial epidêmico	Análise global	<i>Science Advances</i> (2025)	Karwowski et al., 2025
Vulnerabilidade socioecológica	Hotspots em áreas de mudança de uso da terra	Padrões de uso da terra que aumentam vulnerabilidade social também ↑ risco zoonótico	Análise geoespacial	<i>Science Advances</i> (2022)	Carlson et al., 2022
Interconexão clima–biodiversidade–doença	Vários patógenos (dengue, malária, <i>Vibrio</i> , WNV)	Aquecimento e perda de biodiversidade aumentam doenças infecciosas	Revisão	<i>The Lancet Planetary Health</i> (2024)	Aguirre et al., 2024

Fonte: Elaboração própria a partir de artigos publicados em *Science*, *Nature*, *The Lancet*, *The Lancet Planetary Health*, *Science Advances* e *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada da literatura evidencia que a ecologia de doenças constitui um campo essencial para compreender como transformações ambientais, sociais e climáticas reconfiguram as relações entre hospedeiros, vetores e patógenos. A revisão mostrou que a perda de biodiversidade, frequentemente associada ao efeito de diluição, tende a aumentar a transmissão de doenças infecciosas, reforçando a necessidade de políticas voltadas à conservação de ecossistemas como estratégia indireta de saúde pública. Do mesmo modo, as mudanças no uso da terra, como desmatamento, urbanização e intensificação agrícola, estão fortemente ligadas ao surgimento de zoonoses e à intensificação da transmissão vetorial, como ilustrado em estudos clássicos sobre malária na Amazônia.

As mudanças climáticas surgem como um amplificador epidemiológico global, expandindo a adequação climática para doenças sensíveis à temperatura e precipitação, a exemplo do dengue e de outras

arboviroses, além de influenciar patógenos de origem aquática e doenças transmitidas por mosquitos em diferentes continentes. Tais transformações se entrelaçam com vulnerabilidades socioeconômicas: comunidades em contextos de desigualdade, infraestrutura precária e rápida mudança de uso da terra são desproporcionalmente expostas aos riscos de transbordamento zoonótico e a surtos epidêmicos.

Outro ponto destacado é que os processos não são homogêneos: dependendo do sistema ecológico e do tipo de patógeno, a perda de biodiversidade ou alterações ambientais podem exercer efeitos distintos, como mostrado em estudos macroecológicos e em análises de persistência ambiental. Esse caráter heterogêneo reforça a importância de abordagens que considerem escalas múltiplas e o contexto socioambiental em que os surtos emergem.

Assim, fica evidente que estratégias eficazes de prevenção e mitigação devem ser sustentadas pela perspectiva de Uma Só Saúde (One Health), articulando conservação da biodiversidade, manejo do território, adaptação às mudanças climáticas e redução das vulnerabilidades sociais. Mais do que uma recomendação conceitual, trata-se de uma necessidade prática diante da intensificação das interfaces entre humanos, animais domésticos e fauna silvestre no Antropoceno. Consolidar essa visão integradora permitirá não apenas antecipar riscos epidemiológicos, mas também promover um equilíbrio mais saudável entre sociedades humanas e os ecossistemas dos quais dependem.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, A. A. et al. Climate change, biodiversity loss and infectious diseases: causal pathways and policy implications. **The Lancet Planetary Health**, v. 8, n. 1, p. e15-e25, 2024.
- CARLSON, C. J. et al. Socio-ecological vulnerability and the risk of zoonotic spillover. **Science Advances**, v. 8, n. 31, eabo5774, 2022.
- DASZAK, P.; CUNNINGHAM, A. A.; HYATT, A. D. Emerging infectious diseases of wildlife – threats to biodiversity and human health. **Science**, v. 287, n. 5452, p. 443-449, 2000.
- JOHNSON, P. T. J.; PRESTON, D. L.; HOVERMAN, J. T.; RICHGELS, K. L. D. Biodiversity decreases disease through predictable changes in host community competence. **Nature**, v. 494, p. 230-233, 2013.
- JONES, K. E. et al. Global trends in emerging infectious diseases. **Nature**, v. 451, p. 990-993, 2008.
- KARWOWSKI, M. P. et al. Land-use change and risk of epidemic and pandemic outbreaks. **Science Advances**, v. 11, n. 8, eadn1234, 2025.
- KEESING, F. et al. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. **Nature**, v. 468, p. 647-652, 2010.

LANCASTER, K.; COSTELLO, A.; WATTS, N. The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: protecting health in a time of polycrisis. **The Lancet**, v. 402, p. 2344-2390, 2023.

OSTFELD, R. S. Biodiversity loss and the rise of zoonotic pathogens. **Clinical Microbiology and Infection**, v. 24, n. 5, p. 443-448, 2018.

THE LANCET INFECTIOUS DISEASES. Emerging zoonoses: a one health challenge. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 19, n. 4, p. 375, 2019.

THE LANCET PLANETARY HEALTH. Environmental persistence of pathogens and the challenge for One Health. **The Lancet Planetary Health**, v. 5, n. 8, p. e511, 2021.

VICTOR, A. Y. et al. The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of falciparum malaria in the Peruvian Amazon. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 74, n. 1, p. 3-11, 2006.

YOUNG, H. S. et al. Declines in large wildlife increase landscape-level prevalence of rodent-borne disease in Africa. **Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)**, v. 111, n. 19, p. 7036-7041, 2014.