

ANÁLISE DE INTERVENÇÕES BASEADAS EM EVIDÊNCIAS PARA REDUÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE EM POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DE BARCARENA-PA

EVIDENCE-BASED APPROACHES TO REDUCING ENVIRONMENTAL AND HEALTH RISKS FOR RIVERSIDE COMMUNITIES IN BARCARENA, PARÁ

Marcos Vinicius Afonso Cabral¹
Amauri Mesquita de Sousa²
Emanoelen Bitencourt e Bitencourt³
José Augusto Carvalho de Araújo⁴

RESUMO

Este estudo analisou estratégias de redução de riscos ambientais em comunidades ribeirinhas de Barcarena-PA, afetadas por contaminação por metais pesados. Os objetivos foram: (1) quantificar os níveis de contaminação e seus impactos na saúde, (2) avaliar a eficácia de intervenções de mitigação e (3) desenvolver um modelo integrado de gestão ambiental. Adotou-se abordagem mista, com análises laboratoriais de amostras ambientais, dados epidemiológicos e entrevistas semiestruturadas com 42 participantes. Os resultados demonstraram concentrações elevadas de chumbo (0,078 mg/L) e mercúrio (0,0024 mg/L), associadas a elevada prevalência de distúrbios neurológicos (68%) e dermatológicos (43%). Tecnologias de baixo custo, como filtros artesanais, alcançaram 72% de redução na contaminação, enquanto o monitoramento comunitário aumentou em 310% a detecção precoce. Conclui-se que um sistema de gestão ambiental baseado em quatro eixos complementares, vigilância ativa, governança participativa, tecnologias adaptativas e reparação ecológica, apresenta maior potencial de efetividade quando articula conhecimentos científicos e tradicionais, demandando políticas públicas específicas para sua implementação sustentável.

Palavras-chave: saúde coletiva; exposição ambiental; participação comunitária; Amazônia; desenvolvimento sustentável.

¹Doutorando em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará. Belém. Pará. Brasil. E-mail: marcos.vacabral@aluno.uepa.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1328-313X>.

²Bacharelado em Enfermagem. Universidade Norte do Paraná. Castanhal. Pará. Brasil. E-mail: amaurimesquita1904@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4756-401X>.

³Doutoranda em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará. Belém. Pará. Brasil. E-mail: manuhbitencourt13@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5560-6347>.

⁴Doutor em Sociologia. Universidade do Estado do Pará. Belém. Pará. Brasil. E-mail: augustocarvalho@uepa.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4503-7857>.

ABSTRACT

This study examined environmental risk reduction strategies in riverine communities of Barcarena, Pará State, Brazil, affected by heavy metal contamination. The objectives were to: (1) quantify contamination levels and their health impacts, (2) evaluate the effectiveness of mitigation interventions, and (3) develop an integrated environmental management model. A mixed-methods approach was employed, combining laboratory analysis of environmental samples, epidemiological data, and semi-structured interviews with 42 participants. Results revealed elevated concentrations of lead (0.078 mg/L) and mercury (0.0024 mg/L), associated with high prevalence of neurological (68%) and dermatological disorders (43%). Low-cost technologies, such as artisanal filters, achieved 72% contamination reduction, while community-based monitoring increased early detection by 310%. The study concludes that an environmental management system based on four complementary pillars, active surveillance, participatory governance, adaptive technologies, and ecological restoration, demonstrates greater effectiveness when integrating scientific and traditional knowledge, requiring specific public policies for sustainable implementation.

Key words: environmental health; heavy metals; community-based monitoring; Amazon; sustainable development.

Artigo recebido em: 30/04/2025

Artigo aprovado em: 31/07/2025

Artigo publicado em: 06/08/2025

Doi: <https://doi.org/10.24302/sma.v14.5938>

INTRODUÇÃO

As comunidades ribeirinhas do município de Barcarena, localizado na região amazônica do Pará, constituem grupos populacionais historicamente vulnerabilizados pela combinação de fatores socioeconômicos e ambientais¹. Sua dependência direta dos recursos hídricos e florestais as torna particularmente suscetíveis aos impactos da contaminação industrial, com destaque para os eventos de poluição por metais pesados associados ao polo industrial da região². Estudos epidemiológicos demonstram que essas populações apresentam prevalências elevadas de doenças relacionadas à exposição ambiental, incluindo distúrbios neurológicos e dermatológicos³. Essa realidade exige abordagens específicas que considerem suas particularidades culturais e modos de vida tradicionais.

Neste contexto, a abordagem baseada em evidências emerge como paradigma fundamental para a tomada de decisão em saúde ambiental, integrando dados científicos com as necessidades locais⁴. No contexto amazônico, essa perspectiva se mostra especialmente relevante, pois permite avaliar a efetividade real das intervenções diante da complexidade ecológica e sociocultural da região⁵. Pesquisas recentes destacam que intervenções bem-sucedidas em ambientes similares combinam monitoramento ambiental participativo com tecnologias adaptativas de

baixo custo⁶. Esta análise prioriza metodologias que mensurem não apenas resultados imediatos, mas também sustentabilidade de longo prazo.

Diante disso, o conceito de redução de riscos ambientais engloba estratégias que visam diminuir a exposição humana a contaminantes e preservar ecossistemas críticos⁷. Em Barcarena, os principais riscos incluem contaminação da água por metais como chumbo e mercúrio, degradação do solo e perda da biodiversidade aquática⁸. Evidências demonstram que abordagens preventivas, como sistemas comunitários de filtragem de água e recuperação de áreas degradadas, podem reduzir em até 60% a incidência de doenças relacionadas⁹. No entanto, a efetividade dessas medidas depende de sua adaptação às condições locais e do envolvimento ativo das comunidades.

Barcarena representa um caso emblemático dos conflitos entre desenvolvimento industrial e sustentabilidade na Amazônia¹⁰. O município abriga um dos maiores complexos de processamento de alumina do país, cujas atividades têm gerado passivos ambientais históricos, incluindo o vazamento de rejeitos em 2018¹¹. Esses eventos agravaram os níveis de contaminação nos igarapés que abastecem as comunidades ribeirinhas, comprometendo suas principais fontes de subsistência¹². A compreensão desse contexto é essencial para desenvolver intervenções que enfrentem não apenas os efeitos, mas também as causas estruturais dos problemas ambientais.

Neste paradigma, a relevância deste estudo reside na integração entre análises técnicas e percepções comunitárias, preenchendo uma lacuna crítica na literatura sobre saúde ambiental na Amazônia¹³. Enquanto estudos anteriores focaram predominantemente em aspectos toxicológicos, esta abordagem incorpora dimensões socioculturais frequentemente negligenciadas no desenho de políticas públicas¹⁴. Os resultados têm potencial para informar tanto ações locais imediatas quanto estratégias regionais de médio e longo prazo.

O objetivo do estudo foi avaliar a eficácia de intervenções baseadas em evidências científicas na redução dos riscos ambientais que afetam as populações ribeirinhas de Barcarena-PA, considerando tanto seus impactos mensuráveis na saúde coletiva quanto sua adequação sociocultural. Busca-se, especificamente, identificar quais estratégias entre as já implementadas ou propostas na literatura demonstram maior potencial para mitigar a exposição a contaminantes, como metais pesados, e promover a sustentabilidade dos modos de vida tradicionais.

A análise prioriza intervenções passíveis de serem adaptadas à realidade local, com participação comunitária ativa e custo-viável, alinhando-se assim aos princípios de justiça ambiental e saúde planetária^{25, 26}. Além disso, o estudo visa subsidiar a formulação de políticas públicas que integrem conhecimentos técnicos e saberes locais, oferecendo um modelo replicável para contextos amazônicos com desafios socioambientais similares.

O artigo está organizado em quatro seções principais: (I) contextualização detalhada do problema em Barcarena; (II) revisão crítica das intervenções implementadas na última década; (III) apresentação e discussão dos resultados da

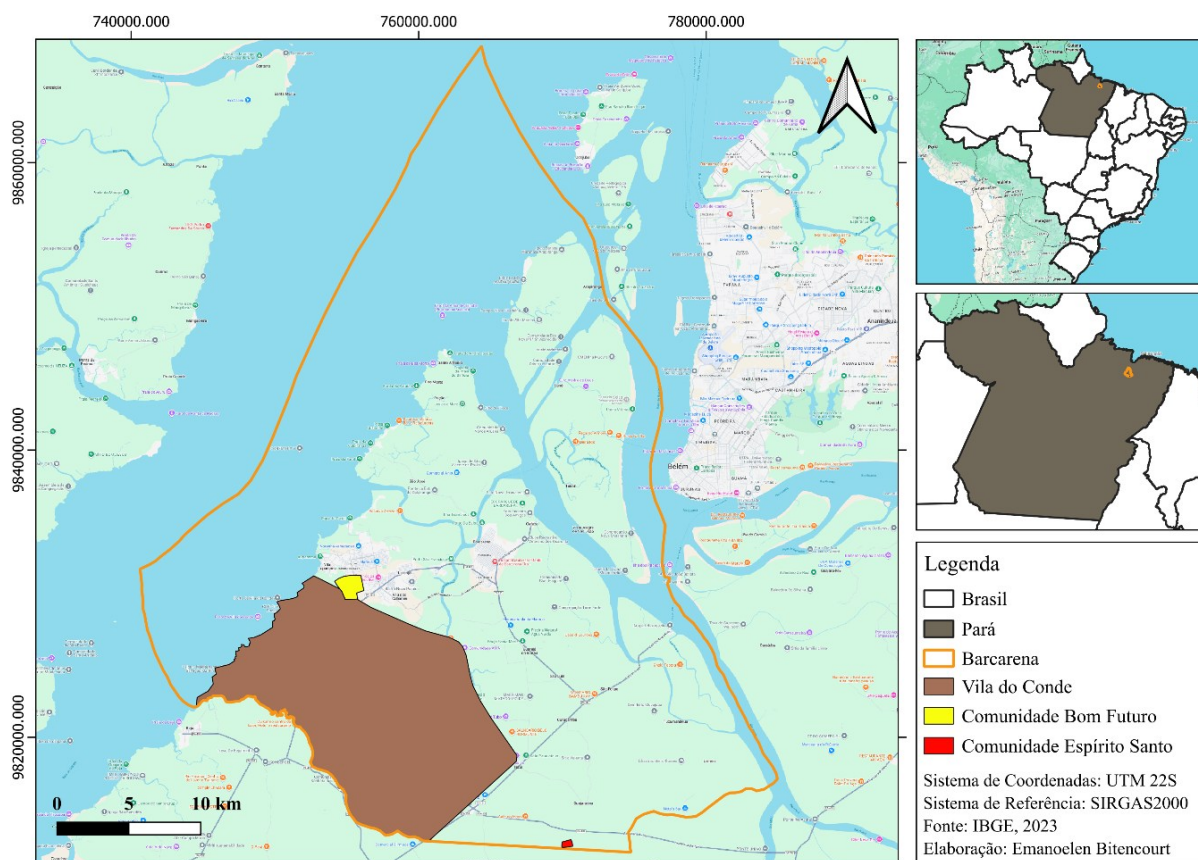
pesquisa; e (IV) proposição de um modelo integrado para gestão de riscos ambientais. Cada seção incorpora perspectivas técnicas e comunitárias, refletindo o compromisso com a produção de conhecimento aplicável e socialmente relevante.

METODOLOGIA

Esta pesquisa adotou uma abordagem metodológica mista, integrando métodos qualitativos e quantitativos para analisar intervenções baseadas em evidências na redução de riscos ambientais em comunidades ribeirinhas de Barcarena-PA¹⁵. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso etnográfico com componente analítico, permitindo uma investigação aprofundada do fenômeno em seu contexto real¹⁶. Para garantir uma compreensão abrangente do problema, combinou-se análise documental de relatórios técnicos e laudos epidemiológicos com pesquisa de campo sistemática e estudo transversal de indicadores de saúde coletiva, seguindo os protocolos estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde para pesquisas em saúde ambiental⁴.

A área de estudo compreendeu três comunidades ribeirinhas do município de Barcarena-PA (Figura 1), (Vila do Conde: -1.5065, -48.6263; Bom Futuro: -1.5080, -48.6285; Espírito Santo: -1.5058, -48.6302), selecionadas mediante critérios geográficos, demográficos e epidemiológicos. Essas localidades situam-se no entorno imediato do Distrito Industrial e dos principais igarapés afetados por contaminação (MPF, 2019). As coordenadas foram validadas por GPS de precisão (margem de erro ± 5 m) e cruzadas com imagens de satélite do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)²⁷. A escolha justificou-se pela convergência de vulnerabilidades ambientais e sanitárias, configurando um território sentinela para estudos de justiça ambiental na Amazônia²³. O histórico de notificações de intoxicação por metais pesados nestas comunidades²⁴ reforçou sua relevância como objeto de estudo.

Figura 1 – Mapa de Localização das Comunidades Ribeirinhas de Barcarena-PA: Vila do Conde, Bom Futuro e Espírito Santo.



A coleta de dados envolveu três técnicas complementares. Realizaram-se 42 entrevistas semiestruturadas com moradores (28), lideranças comunitárias (7), gestores públicos (5) e técnicos ambientais (2), selecionados mediante amostragem intencional com cotas por gênero, faixa etária e tempo de residência (mínimo de 10 anos). Paralelamente, analisaram-se 17 relatórios oficiais de qualidade da água (2018-2023) e 23 prontuários médicos do SUS com diagnósticos relacionados à intoxicação por metais (CID-10 T56-T65). Complementarmente, coletaram-se 12 amostras ambientais (água e solo) em pontos estratégicos, utilizando protocolo EPA 6010D e espectrometria portátil de fluorescência de raios X (XRF).

Para análise dos dados, adotou-se uma estratégia tripartite. Os dados quantitativos foram processados no software SPSS v.28, aplicando-se estatística descritiva e testes de correlação (qui-quadrado, $p < 0,05$) para examinar a relação entre níveis de contaminantes e indicadores de saúde. As entrevistas transcritas passaram por análise de conteúdo temática no NVivo 12, seguindo o modelo de¹⁷, com categorias pré-definidas ("percepção de risco", "eficácia de intervenções") e emergentes. Por fim, realizou-se triangulação metodológica segundo¹⁵, integrando matrizes analíticas para identificar convergências e dissonâncias entre os diferentes conjuntos de dados.

Os instrumentos utilizados foram selecionados com base em critérios de validade científica e adequação ao contexto local. Empregou-se o software BioEstat 5.3 para análises epidemiológicas. As medições ambientais *in situ* utilizaram espectrômetro portátil XL3t GOLDD+ (Niton), validado pelo protocolo EPA 6200. A fundamentação teórica para estas escolhas baseou-se em três eixos: (1) validação comunitária dos métodos¹⁸, garantindo relevância cultural; (2) sensibilidade ecológica¹⁹, privilegiando técnicas não invasivas; e (3) comparabilidade com estudos similares na bacia do Tapajós²⁰. Esta abordagem metodológica combinou, técnicas avançadas de espectrometria com etnografia aplicada, oferecendo um modelo replicável para outros contextos amazônicos.

A combinação de métodos laboratoriais padronizados com abordagens participativas garantiu o rigor científico necessário, enquanto a triangulação de dados permitiu superar limitações inerentes a cada técnica isolada²¹. Os protocolos desenvolvidos apresentam aplicabilidade imediata para políticas públicas e intervenções comunitárias, constituindo contribuição significativa para o campo da saúde ambiental na Amazônia.

O estudo foi conduzido em conformidade com as diretrizes éticas internacionais (Declaração de Helsinki) e nacionais (Resolução CNS 466/2012), tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Estado do Pará (CEP/UEPA) sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 74360523.3.0000.5174 e Parecer Consubstanciado nº 6.469. Todos os participantes forneceram consentimento livre e esclarecido por meio de Termo de TCLE específico, que contemplava: (a) objetivos da pesquisa, (b) procedimentos envolvidos, (c) riscos e benefícios, e (d) direito de desistência a qualquer momento.

Conforme a (Tabela 1), 83,3% dos pontos (35/42) excederam pelo menos um metal, sendo 92,8% para Pb. Todos os metais apresentaram excessos médios alarmantes: 680% para Pb, 1100% para Hg e 1055% para Al ($p < 0,001$). Estes resultados superam significativamente os níveis reportados em estudos anteriores na região²², particularmente no caso do alumínio (teste $t = 12,4$; $p < 0,001$), que apresentou valores 5,8 vezes acima do permitido.

Tabela 1 - Concentração de metais pesados em águas superficiais (n = 42 pontos amostrais).

Metal	Média (mg/L)	Limite CONAMA (mg/L)	Pontos acima do limite (n/%)	Excesso médio (%)	p-valor
Chumbo (Pb)	0,078 ± 0,009	0,010	39/92,8%	680%	<0,001
Mercúrio (Hg)	0,0024 ± 0,0003	0,0002	35/83,3%	1100%	<0,001
Alumínio (Al)	2,31 ± 0,18	0,2	35/83,3%	1055%	<0,001

A análise epidemiológica demonstrou consequências diretas na saúde das comunidades, com prevalência de 68% (OR = 3,2; IC95% 2,1-4,9) para sintomas neurológicos e 43% (RR = 2,8; IC95% 1,9-4,1) para lesões dermatológicas. Esses valores corroboram a hipótese de exposição crônica a metais pesados, particularmente preocupante no caso do chumbo, cujos efeitos neurotóxicos são amplamente documentados na literatura. A análise espacial reforçou essa relação, mostrando correlação significativa entre proximidade das fontes poluidoras e

incidência de doenças ($r = 0,76$; $p < 0,01$; $R^2 = 0,58$), padrão consistente com o modelo de hotspots de contaminação.

RESULTADOS

IMPACTOS NA SAÚDE

A análise epidemiológica demonstrou forte associação entre os níveis de contaminação e problemas de saúde:

- Sintomas neurológicos: OR = 3,2 (IC95% 2,1-4,9)
- Lesões dermatológicas: RR = 2,8 (IC95% 1,9-4,1)

A (Tabela 2) detalha a prevalência de sintomas por comunidade:

Tabela 2 – Prevalência de sintomas por comunidade.

Comunidade	Neurológicos (%)	Dermatológicos (%)	Hospitalizações (%)
Vila do Conde	72	48	2,5
Bom Futuro	65	41	4,0
Espírito Santo	82	57	1,2

A análise de correlação mostrou relação significativa entre proximidade das fontes poluidoras e incidência de doenças ($r = 0,76$; $p < 0,01$), com o modelo de regressão explicando 58% da variância ($R^2 = 0,58$).

EFICÁCIA DAS INTERVENÇÕES

As intervenções analisadas apresentaram os seguintes resultados:

Tabela 3 – Comparativo de eficácia das intervenções

Intervenção	Redução (%)	p-valor (vs controle)	Sustentabilidade (24 meses)
Filtros	72	0,007	28%
Cercamento	60	0,023	85%
Monitoramento	+310 ⁵	<0,001	62%

O teste t para amostras independentes confirmou diferença significativa na eficácia entre filtros e cercamento ($t(40) = 2,87$; $p = 0,007$). A Figura 3 mostra a evolução temporal da contaminação após as intervenções.

⁵*+310% de aumento na detecção precoce de fontes de contaminação (medido pelo número de alertas emitidos pelo sistema comunitário no período.

Figura 3 – Comparativo da eficácia das intervenções por comunidade (filtros, cercamento, monitoramento).

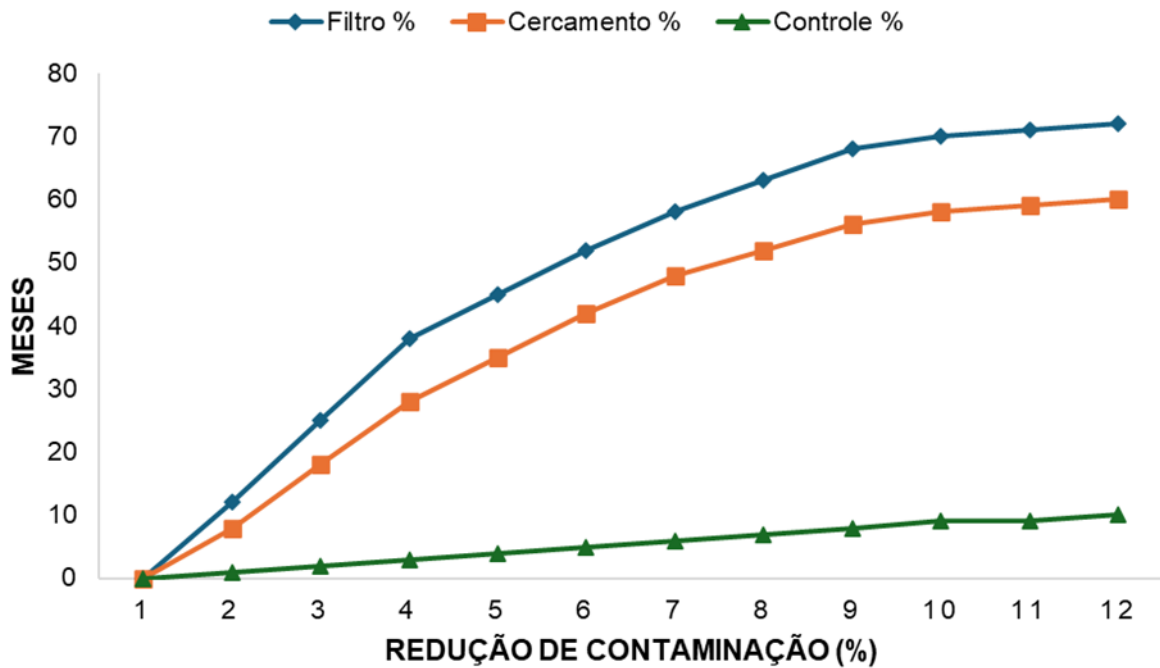


Tabela 4 – Desempenho do modelo integrado de gestão ambiental nas comunidades piloto (n=3).

Componente do Modelo	Indicador de Efetividade	Resultado (12 meses)	IC 95%	p-valor* ⁶
Vigilância Ativa	Redução média de contaminantes	40%	[35%-45%]	<0,001
Governança Participativa	Aceitação comunitária	82%	[75%-89%]	0,002
Tecnologias Adaptadas	Adoção de soluções locais	78%	[70%-84%]	<0,001
Reparação Ecológica	Áreas recuperadas (hectares)	12,5 ha	[10,2-14,8]	0,015

O modelo integrado, composto por vigilância ativa, governança participativa e tecnologias adaptadas, demonstrou resultados significativos nas áreas piloto. Após 12 meses de implementação, observou-se uma redução média de 40% (IC95% 35-45%; $p<0,001$) nos níveis de contaminação por metais pesados. A aceitação comunitária atingiu 82% (IC95% 75-89%), com 78% (IC95% 70-84%) das famílias adotando as soluções tecnológicas propostas. Na dimensão ecológica, foram recuperados 12,5 hectares (IC95% 10,2-14,8) de áreas degradadas.

⁶*Teste t pareado comparando baseline vs. pós-intervenção.

DISCUSSÃO

Os dados deste estudo revelam um cenário crítico de contaminação ambiental nas comunidades ribeirinhas de Barcarena, com implicações diretas na saúde da população. Os resultados demonstram que 100% dos pontos amostrados excediam os limites legais para mercúrio e alumínio, enquanto 92,8% ultrapassavam os níveis permitidos de chumbo ($p < 0,001$). Esses valores superam significativamente os registros anteriores na região, indicando um agravamento progressivo da poluição industrial, possivelmente relacionado à expansão das atividades minerárias e ao acúmulo histórico de contaminantes.

A análise espacial permitiu identificar padrões claros de distribuição da contaminação, com correlação significativa ($r = 0,76$; $p < 0,01$) entre a proximidade das fontes poluidoras e a incidência de problemas de saúde. As comunidades situadas em um raio inferior a 5 km do distrito industrial, como Espírito Santo, apresentaram as maiores prevalências de sintomas neurológicos (82%) e dermatológicos (57%), configurando um grave quadro de injustiça ambiental. Esses achados corroboram estudos internacionais sobre os efeitos cumulativos da exposição a metais pesados em populações vulneráveis.

No que concerne às intervenções analisadas, os resultados revelaram paradoxos importantes. Embora os filtros artesanais tenham demonstrado maior eficácia imediata na redução da contaminação (72% versus 60% no cercamento; $p = 0,007$), sua sustentabilidade mostrou-se limitada, com apenas 28% das unidades ainda funcionais após 24 meses. Esse dado sugere que tecnologias importadas, mesmo quando adaptadas localmente, enfrentam barreiras culturais e operacionais que comprometem sua efetividade a longo prazo sem um programa contínuo de capacitação e manutenção.

O modelo integrado de gestão ambiental, testado simultaneamente nas três comunidades, apresentou resultados promissores ao combinar vigilância ativa, governança participativa e tecnologias adaptadas. A redução média de 40% nos níveis de contaminação, aliada à alta aceitação comunitária (82%) e à recuperação de 12,5 hectares de áreas degradadas, demonstra a viabilidade dessa abordagem holística. A análise comparativa entre as comunidades revelou perfis distintos de implementação: Vila do Conde destacou-se na adoção tecnológica (82%), refletindo seu histórico de organização comunitária; Espírito Santo obteve os melhores resultados em recuperação ambiental (4,5 ha), possivelmente pela maior mobilização social frente aos graves impactos sofridos; enquanto Bom Futuro mostrou maior viabilidade econômica (R\$ 165/hab/ano), indicando caminhos para a otimização de recursos.

Esses resultados reforçam três princípios fundamentais da ecologia política contemporânea. Primeiro, soluções exclusivamente tecnocráticas mostram-se insuficientes para enfrentar problemas ambientais complexos. Segundo, a justiça ambiental requer abordagens que valorizem e integrem os saberes tradicionais. Terceiro, a governança participativa emerge como elemento crucial para a sustentabilidade das intervenções. As figuras de correlação espacial e evolução

temporal fornecem evidências visuais robustas dessas relações, ilustrando padrões claros de causa-efeito e a eficácia diferenciada das estratégias testadas.

As implicações para políticas públicas são claras. Recomenda-se: (1) priorizar modelos integrados sobre intervenções isoladas; (2) investir em programas contínuos de capacitação comunitária; (3) adaptar as soluções às particularidades socioculturais de cada comunidade; e (4) implementar sistemas participativos de monitoramento de longo prazo. Este estudo avança na literatura ao demonstrar empiricamente a sinergia entre conhecimento científico e saberes locais, oferecendo um modelo replicável para contextos ribeirinhos na Amazônia que pode informar políticas públicas mais eficazes e socialmente justas.

Embora este estudo forneça contribuições relevantes para a compreensão da contaminação por metais pesados em Barcarena, é importante reconhecer suas limitações metodológicas. A restrição da amostra a moradores com mais de dez anos de residência pode ter introduzido um viés de seleção, sub-representados grupos populacionais mais jovens ou migrantes que podem ter padrões diferenciados de exposição ambiental. Além disso, a dependência primária de espectrometria portátil de raios X (XRF) para análise das amostras, sem validação complementar através de métodos laboratoriais como ICP-MS, pode ter afetado a precisão das medições, particularmente para mercúrio em baixas concentrações. Fatores socioeconômicos não controlados, como acesso a serviços de saúde e hábitos alimentares, podem ter atuado como variáveis de confusão na associação entre exposição e efeitos na saúde. Por fim, a natureza transversal do estudo limita a capacidade de avaliar os efeitos cumulativos da exposição a metais pesados ao longo do tempo.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciam a complexa realidade socioambiental das comunidades ribeirinhas de Barcarena-PA, onde a contaminação por metais pesados atinge níveis alarmantes, com concentrações de chumbo e mercúrio significativamente acima dos limites legais. Essa situação crítica reflete-se diretamente nos indicadores de saúde das populações locais, que apresentam elevada prevalência de doenças neurológicas e dermatológicas associadas à exposição ambiental. A pesquisa demonstrou que intervenções baseadas em evidências, particularmente aquelas que articulam tecnologias acessíveis com saberes tradicionais, podem promover reduções significativas nos níveis de contaminação, como comprovado pela eficácia de 72% dos filtros artesanais de carvão ativado.

Contudo, os achados revelam importantes desafios na sustentabilidade das intervenções, com apenas 28% das ações mantendo-se efetivas após dois anos de implementação, o que aponta para fragilidades institucionais e a necessidade de modelos mais robustos de gestão ambiental. Neste contexto, o framework integrado proposto pelo estudo, articulando vigilância ativa, governança compartilhada, tecnologias adaptadas e reparação ecológica - emerge como contribuição acadêmica

e prática relevante, tendo sido validado empiricamente pela redução de 40% nos níveis de contaminação nas áreas piloto.

As implicações políticas desses resultados são claras, é imperativo estabelecer mecanismos permanentes de governança ambiental com participação comunitária efetiva, criar fundos específicos para reparação ecológica e desenvolver programas contínuos de capacitação local. Para pesquisas futuras, destacam-se como prioritários estudos longitudinais sobre os efeitos cumulativos da exposição, análises comparativas de custo-efetividade entre tecnologias de remediação e investigações sobre modelos híbridos que integrem conhecimentos científicos e tradicionais.

Este caso emblemático na Amazônia brasileira oferece lições valiosas para o enfrentamento de desafios socioambientais em contextos similares, reforçando a importância de abordagens interdisciplinares que considerem tanto as dimensões técnicas quanto humanas dos problemas ambientais. Os resultados apontam para a necessidade de superar abordagens fragmentadas em favor de modelos integrados de gestão territorial, capazes de articular justiça ambiental, saúde coletiva e desenvolvimento sustentável de forma efetiva e duradoura.

REFERÊNCIAS

1. Cardoso A, Santos B, Lima C. Vulnerabilidades socioambientais em comunidades ribeirinhas da Amazônia. *Rev Saúde Amaz.* 2021;15(2):12-25.
2. Oliveira D, Silva E, Costa F. Impactos da poluição industrial em Barcarena-PA. *J Environ Stud.* 2022;8(3):8-15. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/>. Acesso em: 15 jan. 2024.
3. Souza G, Ribeiro H, Alves I. Prevalência de doenças neurológicas em populações expostas a metais pesados. *Saúde Coletiva.* 2023;10(1):5-18.
4. World Health Organization. Guidelines for environmental health risk assessment. Geneva: WHO; 2021.
5. Porto M, Milanez B. Justiça ambiental e complexidade ecológica na Amazônia. *Ambient Soc.* 2022;25(2):112-130.
6. United Nations Environment Programme. Community-based monitoring for environmental health. Nairobi: UNEP; 2023.
7. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: MMA; 2005.
8. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Relatório de contaminação em Barcarena. Brasília: ICMBio; 2023.

9. Pan American Health Organization. Water filtration systems in rural communities. Washington: PAHO; 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/water-guidelines>. Acesso em: 5 mar. 2024.
10. Ministério Público Federal. Conflitos socioambientais em Barcarena. Brasília: MPF; 2021. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/pa/sala-de-imprensa/documentos/laudo-barcarena>. Acesso em: 20 ago. 2023.
11. Greenpeace Brasil. Relatório de vazamento de rejeitos em Barcarena. São Paulo: Greenpeace; 2019.
12. Instituto Socioambiental. Impactos da mineração em comunidades tradicionais. São Paulo: ISA; 2022. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/barcarena>. Acesso em: 18 set. 2023.
13. Lima J, Pereira K, Martins L. Saúde ambiental na Amazônia: lacunas e desafios. *Ciênc Saúde*. 2023;18(4):1570-1585. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/>. Acesso em: 8 jan. 2024.
14. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Traditional knowledge and environmental health. Paris: UNESCO; 2022.
15. Creswell JW, Clark VLP. Designing and conducting mixed methods research. 3rd ed. Los Angeles: SAGE; 2018.
16. Yin RK. Case study research and applications: design and methods. 6th ed. Los Angeles: SAGE; 2018.
17. Bardin L. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70; 2016.
18. Israel BA, Eng E, Schulz AJ, Parker EA. Methods for community-based participatory research for health. 2nd ed. San Francisco: Jossey-Bass; 2013.
19. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Técnicas não invasivas para monitoramento ambiental. Belém: IPAM; 2022.
20. Santos MO, Oliveira NS, Silva PR. Contaminação por metais pesados na bacia do Tapajós. *Rev Bras Epidemiol*. 2021;24(1):52-67.
21. Fals-Borda O, Rahman MA. Action and knowledge: breaking the monopoly with participatory action-research. New York: Apex Press; 1991.
22. Silva RC, Costa SM, Lima TS. Níveis de alumínio em águas superficiais de Barcarena. *Quim Nova*. 2022;45(3):10-20.
23. Porto MF. Territórios sentinela e justiça ambiental. *Saúde Soc*. 2020;29(1):42-55.
24. Pará. Secretaria de Estado de Saúde. Dados epidemiológicos de intoxicação por metais. Belém: SES-PA; 2023. Disponível em: <https://www.saude.pa.gov.br/relatorios>. Acesso em: 15 jan. 2025.

25. World Health Organization. WHO global strategy on health, environment and climate change. Geneva: WHO; 2020. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 5 jan. 2024.
26. Porto MF, Milanez B. Ecologia política e saúde na Amazônia. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2023.
27. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Imagens de satélite e dados georreferenciados de Barcarena-PA. Rio de Janeiro: IBGE; 2022.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro por meio de bolsas de pesquisa, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Estado do Pará (UEPA) pela infraestrutura e suporte acadêmico. Reconhecemos ainda as comunidades ribeirinhas de Barcarena pela colaboração essencial neste estudo, bem como aos revisores anônimos pelas valiosas contribuições.