

Tecnologias ambientais e conhecimento tradicional indígena na gestão de resíduos sólidos: uma revisão sistemática

Environmental technologies and indigenous traditional knowledge in solid waste management: a systematic review

Tecnologías ambientales y conocimiento tradicional indígena en la gestión de residuos sólidos: una revisión sistemática

Denise M. S. Alves¹
Claudio Luis de Araujo Neto¹
Amanda Paiva Farias¹

Recebido em: 11/04/2026; aceito em: 29/05/2026

DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v27i1.5427>

Resumo: Comunidades indígenas enfrentam barreiras complexas no gerenciamento de resíduos sólidos devido à carência de infraestrutura e à tensão entre saberes ancestrais e resíduos modernos. Esta revisão sistemática, conduzida em conformidade com o protocolo Prisma, identifica práticas de manejo e tecnologias aplicadas à gestão de resíduos sólidos em territórios indígenas. Os achados revelam um paradoxo: embora as comunidades possuam uma base cultural focada na prevenção e na circularidade, enfrentam dificuldades no manejo de resíduos industrializados, resultando em práticas como a queima a céu aberto. A análise indica que a eficácia das soluções reside na ativação de tecnologias ambientais/sociais, como a educação ambiental intergeracional e o engajamento comunitário, que funcionam como pré-requisitos para o sucesso de infraestruturas físicas. Conclui-se que a sustentabilidade depende da transição de modelos verticais para a cogestão, reconhecendo o Conhecimento Tradicional Indígena (CTI) como matriz ativa de inovação e de coprodução socioambiental.

Palavras-chave: Comunidades indígenas; tecnologias sociais; conhecimento tradicional; educação ambiental; sustentabilidade.

Abstract: Indigenous communities face complex barriers in solid waste management due to inadequate infrastructure and the tension between ancestral knowledge systems and modern waste streams. This systematic review, conducted in accordance with the PRISMA protocol, identifies management practices and technologies applied to solid waste management in Indigenous territories. The findings reveal a paradox: although these communities possess cultural frameworks centered on prevention and circularity, they face significant challenges in managing industrialized waste, often resulting in practices such as open burning. The analysis indicates that the effectiveness of waste management solutions depends on the activation of environmental and social Technologies – such as intergenerational environmental education and community engagement – which act as prerequisites for the successful implementation of physical infrastructure. It is concluded that sustainability depends on the transition from top-down models to co-management approaches, recognizing Indigenous Traditional Knowledge (ITK) as an active framework for innovation and socio-environmental co-production.

Keywords: Indigenous Communities; Social Technologies; Traditional Knowledge; Environmental Education; Sustainability.

Resumen: Las comunidades indígenas enfrentan barreras complejas en la gestión de residuos sólidos debido a la insuficiencia de infraestructura y a la tensión entre los saberes ancestrales y los residuos modernos. Esta revisión sistemática, realizada de conformidad con el protocolo PRISMA, identifica prácticas de manejo y tecnologías aplicadas a la gestión de residuos sólidos en territorios indígenas. Los hallazgos revelan una paradoja: aunque las comunidades poseen una base cultural centrada en la prevención y la circularidad, enfrentan dificultades en el manejo de residuos industrializados, lo que frecuentemente resulta en prácticas como la quema a cielo abierto. El análisis indica que la eficacia de las soluciones depende de la activación de tecnologías ambientales y sociales, tales como la educación ambiental intergeneracional y la participación comunitaria, que actúan como prerequisites para el éxito de la implementación de infraestructuras físicas. Se concluye que la sostenibilidad depende de la transición de modelos verticales a enfoques de cogestión, reconociendo el Conocimiento Tradicional Indígena (CTI) como una matriz activa de innovación y coproducción socioambiental.

¹ Universidade Federal do Maranhão (UFMA), São Luís, Maranhão, Brasil.

Palabras clave: Comunidades indígenas; tecnologías sociales; conocimiento tradicional; educación ambiental; sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

A gestão inadequada de resíduos sólidos representa um desafio global crítico, com implicações diretas para a saúde pública e a sustentabilidade ambiental. Os impactos negativos incluem poluição, degradação dos solos e mudanças climáticas (Abubakar *et al.*, 2022). Em comunidades indígenas, essa problemática adquire uma complexidade adicional, dada a intersecção de fatores culturais, socioeconômicos, geográficos e históricos que singularizam esses territórios.

Historicamente, essas comunidades mantinham sistemas de gestão baseados em ciclos biogeoquímicos locais, adequados a dietas e materiais tradicionais. No entanto, os padrões de consumo nesses territórios têm sofrido transformações profundas, marcadas pela substituição de insumos orgânicos por uma crescente dependência de produtos industrializados (Joseph; Turner, 2020; Silva; Garavello, 2015). Essa transição material resultou no acúmulo de resíduos plásticos, metálicos e tóxicos, para os quais os sistemas tradicionais de gerenciamento se mostram ineficazes (Oyegunle; Thompson, 2018). Essa mudança na composição gravimétrica dos resíduos sólidos impõe a necessidade urgente de adaptar e desenvolver novas abordagens de gestão eficazes e, crucialmente, culturalmente apropriadas.

A escolha de tecnologias para a gestão de resíduos em áreas rurais e indígenas não é apenas uma decisão técnica, mas depende intrinsecamente de fatores financeiros, educacionais e culturais (Lima *et al.*, 2021). Diante da precariedade ou da inexistência de serviços públicos formais, é comum que essas comunidades recorram aos seus próprios sistemas de conhecimento, derivados de interações seculares com o meio ambiente (Madonsela; Machete; Shale, 2024).

Esse corpo de saberes, identificado na literatura como Conhecimento Ecológico Tradicional (TEK), foi conceituado por Berkes (2018, p. 25) como “um corpo cumulativo de conhecimentos, práticas e crenças, que evolui por processos adaptativos e é transmitido culturalmente de geração em geração, acerca da relação entre os seres vivos (incluindo os humanos) entre si e com o ambiente”. No entanto, considerando que a gestão de resíduos sólidos em comunidades indígenas envolve não apenas aspectos ecológicos, mas também dimensões cosmológicas e sociais, este estudo adotará o termo abrangente Conhecimento Tradicional Indígena (CTI) para se referir a esse sistema integrado de saberes.

Estudos pioneiros, como os de Posey (1985) com os Kayapó na Amazônia, demonstraram que os povos indígenas manejam seus ecossistemas de forma ativa e sofisticada. Longe de ser um repositório estático do passado, o CTI é dinâmico e está em constante evolução (Cunha, 2009), informando práticas que vão desde a subsistência até domínios culturais e espirituais (Cunha; Magalhães; Adams, 2021; Turner; Cuerrier; Joseph, 2022).

No campo da pesquisa ambiental, o conhecimento indígena tem ganhado destaque ao revelar que certos métodos de manejo e descarte favorecem a sustentabilidade e o bem-estar comunitário (Madonsela; Machete; Shale, 2024). Paralelamente, o avanço de tecnologias ambientais modernas (incluindo tratamentos biológicos, térmicos e estratégias de recuperação de energia) oferece novos caminhos para a eficiência dos sistemas (Prajapati *et al.*, 2021). Há, portanto, uma convergência teórica emergente: a integração de princípios da economia circular

e tecnologias de reciclagem pode transformar os sistemas locais (Lima *et al.*, 2021), dialogando com cosmologias indígenas que já incorporam elementos de circularidade e desafiam a própria definição ocidental de resíduo como algo destinado exclusivamente ao descarte (Siragusa; Arzyutov, 2020).

Apesar desse potencial, a articulação prática entre essas duas esferas permanece sub-representada na literatura científica e pouco considerada na formulação de políticas públicas. Nesse cenário, este estudo tem como objetivo identificar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, as práticas de manejo de resíduos sólidos e as tecnologias ambientais aplicadas em comunidades indígenas, analisando a integração entre os saberes tradicionais e as soluções técnicas contemporâneas sob a ótica da sustentabilidade.

2 METODOLOGIA

Este estudo se caracteriza como uma revisão sistemática da literatura sobre a gestão de resíduos sólidos em comunidades indígenas, conduzida de acordo com as diretrizes do protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (Prisma). A metodologia seguiu etapas estruturadas, incluindo a formulação da questão de pesquisa, a definição das bases de dados e dos descritores, a aplicação de critérios de inclusão e exclusão e a análise crítica dos estudos selecionados. A adoção do Prisma assegura maior transparência, rigor metodológico e reprodutibilidade ao processo de revisão.

2.1 Estratégia de busca

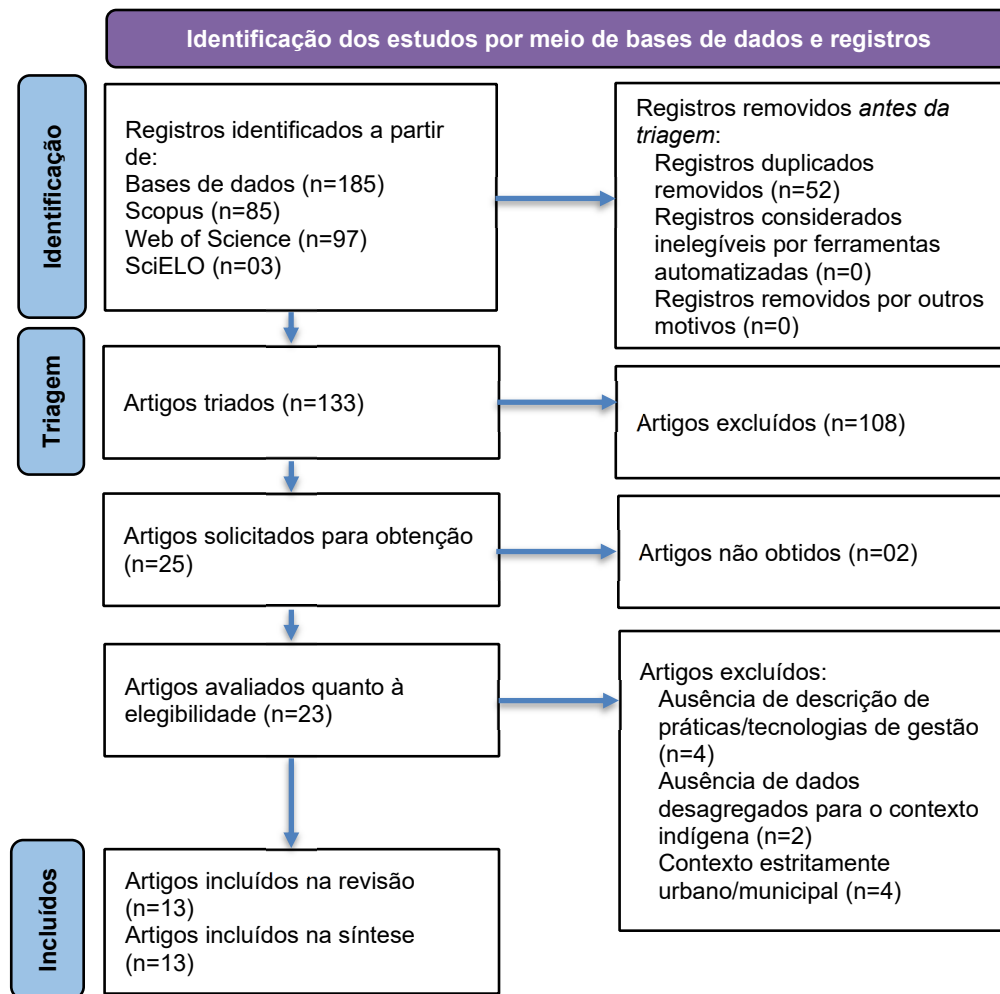
Foram consultadas as bases de dados Scopus, Web of Science e SciELO, utilizando a combinação dos termos “*solid waste management*”, “*household waste*”, “*municipal solid waste*”, “*solid waste treatment*”, “*indigenous*”, “*aboriginal*”, “*First nation*” e “*First peoples*” com uso dos operadores booleanos *AND* e *OR*. A definição desses descritores teve como objetivo ampliar o escopo da busca e minimizar possíveis vieses de exclusão, considerando a baixa representatividade e a escassez de pesquisas específicas sobre a gestão de resíduos sólidos em comunidades indígenas.

2.2 Critérios de inclusão e exclusão

Foram considerados elegíveis artigos científicos publicados entre 2015 e 2025, em inglês e português, que tratassem da gestão de resíduos sólidos em comunidades indígenas, independentemente da região geográfica. Foram excluídos os trabalhos que não incluíam comunidades indígenas, bem como revisões de literatura e estudos voltados a resíduos líquidos ou gasosos.

O processo de seleção dos estudos foi registrado no diagrama Prisma, apresentado na Figura 1. Na primeira etapa, os registros identificados na busca foram triados a partir da leitura de títulos e resumos, de modo a avaliar sua relevância para o escopo desta revisão. Em seguida, os trabalhos pré-selecionados foram analisados integralmente para confirmar sua elegibilidade com base nos critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos.

Figura 1 – Fluxo de seleção dos artigos segundo o protocolo PRISMA



Fonte: Adaptado de Prisma Statement (2025).

2.3 Extração e síntese de dados

Os artigos selecionados foram lidos integralmente e submetidos à extração padronizada de dados, contemplando práticas de manejo de resíduos, tecnologias aplicadas e desafios e sucessos reportados. As categorias analíticas foram definidas com base em referenciais de gestão ambiental e tecnologia social. As práticas de manejo foram classificadas como tradicionais, modernas e adaptadas ou inadequadas, enquanto as tecnologias ambientais foram agrupadas em quatro categorias: biológicas; físicas e de infraestrutura; sociais e educacionais; e de gestão e otimização.

Posteriormente, os dados foram submetidos à codificação temática e agrupados por similaridade conceitual e funcional, considerando a finalidade da prática, a natureza da tecnologia e o nível de atuação. Esse procedimento permitiu a consolidação de macrotemas analíticos que orientaram a organização e interpretação dos resultados.

3 RESULTADOS

3.1 Panorama geral das práticas e tecnologias identificadas

Os 13 estudos analisados evidenciaram a diversidade de práticas de manejo e de tecnologias ambientais aplicadas em territórios indígenas, sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Práticas e tecnologias de gestão de resíduos em comunidades indígenas

Práticas de Manejo de Resíduos		
Categoria	Subcategoria/Práticas	Referências
Tradicionais	Prevenção e Minimização	Assuah (2023); Assuah (2025); Melo et al. (2023)
	Utilização Integral de Recursos	Assuah (2023); Begg et al. (2023); Senekane et al. (2022)
	Compostagem Caseira e Fertilização Natural	Senekane et al. (2022); Begg et al. (2023); Melo et al. (2023)
	Compartilhamento Comunitário	Assuah (2023)
Modernas e adaptadas	Reciclagem e Coleta Seletiva	Assuah e Sinclair (2021); Assuah e Johansen (2023);
	Reutilização de Materiais	Melo et al. (2023); Senekane et al. (2022); Assuah (2023)
Inadequadas	Queima de Lixo a Céu Aberto	Oyegunle e Thompson (2018); Cornélio et al. (2019); Senekane et al. (2022); Melo et al. (2023)
	Enterramento e Poços de Quintal	Senekane et al. (2022); Oyegunle e Thompson (2018); Melo et al. (2023)
	Despejo a Céu Aberto (Lixões)	Oyegunle e Thompson (2018); Cornélio et al. (2019); Senekane et al. (2022); Assuah e Sinclair (2021)
Tecnologias Ambientais		
Categoria	Subcategoria/Tecnologias	Referências
Biológicas	Compostagem	Assuah e Sinclair (2021); Oliveira et al. (2022); Madonsela et al. (2024)
	Larvas de mosca-soldado-negro	Chineme et al. (2022)
	Agrofloresta e Restauração Ecológica	Begg et al. (2023)
Físicas e de infraestrutura	Aterros Sanitários	Assuah e Sinclair (2021); Oyegunle e Thompson (2018); Wang et al. (2025); Oliveira et al. (2022)
	Lojas de Reutilização	Assuah e Sinclair (2021); Assuah (2025); Assuah e Johansen (2023)
	Estações de Transferência	Assuah e Sinclair (2021); Wang et al. (2025)
	Centros de Triagem e Reciclagem	Assuah e Sinclair (2021); Assuah e Johansen (2023)
	Pontos de Entrega Voluntária	Oliveira et al. (2022)
Sociais e educacionais	Educação Ambiental Escolar e Aprendizagem Intergeracional	Assuah e Johansen (2023); Cornélio et al. (2019); Assuah (2025)
	Engajamento Comunitário e Ação Coletiva	Madonsela et al. (2024); Assuah (2025)
	Empreendedorismo Social e Comércio de Resíduos	Chineme et al. (2022); Madonsela et al. (2024)
Gestão e otimização	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	Oliveira et al. (2022)
	Processo de Hierarquia Analítica (AHP)	Madonsela et al. (2024)
	Modelos de Otimização – Simfo	Wang et al. (2025)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Os achados revelam que os sistemas locais de manejo combinam práticas tradicionais, soluções técnico-institucionais incorporadas e, em muitos contextos, estratégias ambientalmente inadequadas decorrentes de limitações estruturais. No conjunto das práticas de manejo, observou-se predominância de estratégias tradicionais associadas à prevenção da geração de resíduos, ao uso integral de recursos e à valorização da matéria orgânica por meio de compostagem doméstica e de fertilização natural.

Em paralelo, foram identificadas práticas modernas e adaptadas, especialmente relacionadas à reciclagem, à coleta seletiva e à reutilização de materiais, geralmente associadas à introdução de infraestrutura específica e ao apoio de programas institucionais externos. Os estudos também registram recorrência de práticas inadequadas de destinação, notadamente a queima a céu aberto, o enterramento domiciliar e o descarte em lixões ou áreas abertas. Essas práticas se concentram sobretudo em territórios desprovidos de serviços formais de coleta e de infraestrutura de disposição final.

Quanto às tecnologias ambientais identificadas, estas foram agrupadas em quatro categorias principais: biológicas; físicas e de infraestrutura; sociais e educacionais; e de gestão e otimização. Entre as tecnologias biológicas, destacam-se os sistemas de compostagem, a bioconversão por larvas de mosca-soldado-negro e as práticas de restauração ecológica integradas à gestão orgânica de resíduos.

As tecnologias físicas e de infraestrutura compreendem principalmente aterros sanitários, estações de transferência, centros de triagem, pontos de entrega voluntária e estruturas de apoio à reutilização de materiais. Sua presença está fortemente associada à atuação estatal ou a projetos institucionais de apoio técnico. Por sua vez, as tecnologias sociais e educacionais emergem de forma transversal nos estudos como elementos estruturantes da efetividade dos sistemas de gestão, incluindo ações de educação ambiental, aprendizagem intergeracional, engajamento comunitário e iniciativas de empreendedorismo social.

Finalmente, ferramentas de gestão e otimização, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) e modelos computacionais de otimização logística, foram identificadas como instrumentos analíticos aplicados ao planejamento e ao dimensionamento de sistemas adaptados às especificidades territoriais e operacionais de comunidades isoladas.

3.1 A lógica preventiva

A análise da literatura revela que os princípios de prevenção e minimização de resíduos estão profundamente enraizados nos saberes e valores culturais indígenas, constituindo a base da gestão ambiental tradicional. Essa abordagem prioriza a não geração de resíduos, em vez de focar em seu tratamento posterior (Assuah, 2023).

Essa perspectiva se manifesta de múltiplas formas. Em comunidades das Primeiras Nações no Canadá, a minimização de resíduos é ensinada como uma prática preventiva fundamental. Essa lógica inclui o uso integral dos recursos naturais, como a coleta apenas do necessário durante a caça e o reaproveitamento de carcaças para alimentar outras espécies (Assuah, 2023). Em nível doméstico, essa filosofia se traduz em ações individuais, como a reutilização de objetos até o limite de sua utilidade e a preferência por produtos com embalagens simples (Assuah, 2025).

Práticas similares de valorização e reutilização de materiais são observadas em outros contextos. Entre os indígenas fijianos (*iTaukei*), materiais naturais, como bambu e folhas de

palmeira, são empregados na construção de habitações tradicionais resilientes (*bures*) (Begg; N'Yeurt; Begg, 2023).

A literatura aponta ainda para estratégias comunitárias que visam reduzir a dependência de produtos externos e a consequente geração de resíduos. O povo Gavião Pyhcop Catiji, por exemplo, busca restabelecer a soberania alimentar para diminuir a necessidade de alimentos industrializados e a entrada de embalagens plásticas, investindo no cultivo de plantas nativas e na construção de infraestrutura local para processamento de alimentos, como casas de farinha (Melo; Lima; Ribeiro, 2023).

O compartilhamento de alimentos e bens com a comunidade, especialmente com os mais velhos, também é citado como um mecanismo social para evitar o acúmulo e o desperdício (Assuah, 2023). Outra prática de desvio de resíduos orgânicos identificada é a alimentação de animais domésticos. Essa abordagem foi relatada em comunidades no Lesoto, onde restos de cozinha alimentam cães e porcos, e entre o povo Gavião Pyhcop Catiji, que utiliza sobras para alimentar galinhas, gatos e cães (Senekane; Makhene; Oelofse, 2022; Melo; Lima; Ribeiro, 2023).

3.2 Gestão e valorização de resíduos orgânicos

A valorização de resíduos orgânicos por meio da compostagem emerge como uma prática de manejo profundamente enraizada no conhecimento ecológico tradicional indígena. As práticas descritas se configuram como iniciativas individuais ou familiares, focadas na autossuficiência e na manutenção de um ciclo fechado de nutrientes em nível doméstico.

Em comunidades do Lesoto, a compostagem caseira utiliza resíduos como esterco, restos de alimentos e podas de jardim para a produção de fertilizante natural, o que, segundo o estudo, reduz a dependência de insumos químicos externos (Senekane; Makhene; Oelofse, 2022). De forma similar, o conhecimento tradicional do povo *iTaukei* (Fiji) detalha uma técnica de compostagem que equilibra ingredientes marrons, ricos em carbono (como aparas de madeira e folhas secas), com ingredientes verdes, ricos em nitrogênio (como cascas de frutas e esterco), para a produção de composto (Begg; N'Yeurt; Begg, 2023).

Para além das práticas domésticas, os estudos descrevem o uso de tecnologias biológicas em abordagens mais estruturadas para a valorização de resíduos orgânicos. A compostagem, nesse contexto, é apresentada como um programa institucionalizado, como observado em uma comunidade das Primeiras Nações no Canadá, que opera uma instalação de compostagem (*compost facility*) e um sistema de coleta seletiva que envolve a distribuição de baldes de compostagem (*compost buckets*) aos residentes, os quais são trocados por recipientes limpos a cada coleta semanal (Assuah; Sinclair, 2021; Assuah; Johansen, 2023).

Da mesma forma, cenários de gestão para a Amazônia brasileira, que abrangem áreas indígenas, propõem a implementação de pátios de compostagem com operação manual, embora a tecnologia seja especificada para o tratamento de resíduos orgânicos gerados na área urbana (Oliveira *et al.*, 2022). A relevância dessa tecnologia é corroborada por achados em comunidades indígenas na África do Sul, onde a compostagem é altamente priorizada pelos próprios moradores como um método ambientalmente sustentável de tratamento de resíduos (Madonsela, B. S. *et al.*, 2024).

Outra tecnologia biológica identificada é a bioconversão de resíduos por meio de larvas de mosca-soldado-negro (*Black Soldier Fly* [BSF]). Descrita como um método de baixa tecnologia, acessível e adaptável, essa técnica valoriza o biorresíduo, transformando-o em biofertilizantes

e larvas ricas em proteínas para ração animal, promovendo um ciclo fechado de nutrientes (Chineme *et al.*, 2022).

O manejo de resíduos orgânicos transcende a simples etapa de processamento, estendendo-se à sua reintegração em sistemas produtivos e de restauração ecológica. Em uma abordagem mais ampla de manejo integrado, por exemplo, práticas de agrofloresta são citadas como técnicas tradicionais para a restauração da fertilidade do solo. Entre o povo Gavião Pyhcop Catiji, resíduos orgânicos são queimados intencionalmente para a produção de cinzas utilizadas como fertilizante (Melo; Lima; Ribeiro, 2023). Adicionalmente, o plantio de espécies específicas, como o capim-vetiver, é empregado como tecnologia biológica para mitigar a erosão e absorver poluentes, contribuindo para a restauração ecológica e a proteção de sistemas hídricos (Begg; N'Yeurt; Begg, 2023).

Por fim, destaca-se a valorização da cinza (*molora*), subproduto da queima de biomassa e resíduos domésticos, como esterco de vaca e papel, em comunidades no Lesoto. Suas aplicações são multifuncionais, abrangendo o uso agrícola no controle de pragas, o uso medicinal no tratamento de pele e funções doméstico-culturais, como componente de tintas tradicionais e símbolo de luto. O manejo deste material ocorre em pilhas designadas “*thotobolo*”, que também possuem funções rituais, como a proteção contra raios (Senekane; Makhene; Oelofse, 2022).

3.3 Tecnologias e práticas de desvio

Para lidar com resíduos não biodegradáveis, diversas comunidades indígenas adotaram práticas modernas de desvio de resíduos, como a reciclagem, a coleta seletiva e a reutilização. Nas comunidades das Primeiras Nações do Canadá, essas iniciativas evoluíram ao longo do tempo e podem ser encontradas em diversos ambientes, de escolas a comunidades inteiras. A implementação da reciclagem, em particular, é frequentemente descrita como uma prática que surge de iniciativas comunitárias, muitas vezes impulsionada por programas escolares que promovem a separação de materiais como metais, PET, papel e papelão (Assuah; Johansen, 2023; Assuah; Sinclair, 2021). No entanto, um dos estudos analisados revela que a reciclagem é, por vezes, percebida por membros da comunidade como um conceito relativamente novo e distinto das práticas tradicionais de manejo.

Essa percepção é atribuída a três fatores principais: a prevalência histórica de resíduos orgânicos, para os quais o conhecimento tradicional era adaptado; a ausência de ensinamentos sobre reciclagem por parte das gerações mais velhas; e a introdução recente de resíduos industrializados complexos e seus respectivos programas de gestão (Assuah, 2025).

A prática da reutilização se manifesta sob duas vertentes principais: por meio de sistemas organizados para a troca de bens e por meio de aplicações criativas e funcionais de materiais descartados. Em áreas rurais do Lesoto, por exemplo, pneus velhos são convertidos em cadeiras, enquanto plásticos são transformados em tapetes, bolsas e chapéus (Senekane; Makhene; Oelofse, 2022). De forma análoga, o povo Gavião Pyhcop Catiji manifesta uma ética de maximização de recursos ao transformar latas de metal em utensílios, como raladores de mandioca, e ao utilizar bens duráveis, como bicicletas e eletrodomésticos, até o seu completo esgotamento funcional. (Melo; Lima; Ribeiro, 2023).

Um conjunto de tecnologias de infraestrutura física foi identificado como suporte fundamental às práticas de reciclagem e de reutilização. As principais tecnologias citadas são as

Estações de Transferência, os Centros de Triagem e Reciclagem (*Recycling Depots*) e os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs).

As Estações de Transferência, em particular, são descritas como centros logísticos essenciais para armazenar os resíduos e otimizar seu transporte. Um estudo de otimização para comunidades indígenas isoladas sugere que, para maximizar a eficiência do sistema, todo o resíduo deveria passar por essas estações para o pré-processamento, aumentando, assim, as taxas de reciclagem e reduzindo o impacto ambiental (Wang *et al.*, 2025). Contudo, a implementação dessas estações apresenta desafios operacionais significativos.

Um estudo aponta para a falta de envolvimento da comunidade no planejamento e design dessas instalações em comunidades das Primeiras Nações, o que pode resultar em um baixo senso de apropriação por parte dos usuários. Adicionalmente, é relatado o problema do descarte inadequado dentro das próprias estações, onde os materiais são deixados sem a devida separação, comprometendo o seu funcionamento (Assuah; Sinclair, 2021).

Os Centros de Triagem e Reciclagem emergem como a infraestrutura física central para a gestão de recicláveis. Sua função primária é servir como local para o processamento dos materiais coletados e como ponto de entrega para os membros da comunidade levarem seus resíduos já separados (Assuah; Sinclair, 2021).

Além de seu papel logístico, os estudos destacam a função desses depósitos na educação e no engajamento comunitário. A equipe local frequentemente orienta os moradores sobre a separação correta dos materiais, transformando o local em um ponto de aprendizado prático (Assuah; Johansen, 2023). Adicionalmente, os depósitos facilitam práticas de reutilização, com os funcionários separando e disponibilizando itens em bom estado para outros membros da comunidade (Assuah; Sinclair, 2021). A presença desses centros, quando combinada com serviços de coleta domiciliar, também é citada como fator que incentiva a participação geral nos programas de reciclagem (Assuah; Johansen, 2023).

Para viabilizar a coleta de recicláveis em territórios de grande extensão e baixa densidade demográfica, como áreas rurais e indígenas, um dos estudos indica a utilização de Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) como uma tecnologia de infraestrutura estratégica. Em um estudo de caso na Amazônia brasileira, os PEVs são propostos como locais designados para a coleta de resíduos recicláveis secos, como PET e metais. O modelo de gestão detalha a implementação de rotas específicas para a coleta mensal nesses pontos, partindo da área urbana e utilizando tanto transporte rodoviário (caminhão basculante) quanto fluvial (barco) para alcançar os distritos rurais e os postos de saúde em aldeias indígenas (Oliveira *et al.*, 2022).

A Loja Gratuita (*Free Store*) é apontada como uma tecnologia de infraestrutura, frequentemente gerida por voluntários, que viabiliza a reutilização organizada em nível comunitário. O sistema consiste em um espaço para doação e retirada gratuita de itens em bom estado, como roupas e equipamentos, estendendo sua vida útil e evitando o descarte. Os estudos relatam a alta satisfação dos participantes com a iniciativa, cuja implementação pode variar de instalações formais a arranjos mais informais (Assuah, 2025; Assuah; Johansen, 2023; Assuah; Sinclair, 2021).

Apesar da implementação dessas práticas e tecnologias, evidencia-se, de forma consistente, um conjunto de barreiras financeiras, logísticas e operacionais que dificultam a gestão de recicláveis. A falta de financiamento adequado é citada como um obstáculo crítico que impede a sustentabilidade e a expansão dos programas (Assuah; Sinclair, 2021).

Em comunidades remotas e isoladas, esse desafio é agravado pelos altos custos de transporte para levar os materiais até os mercados de reciclagem, que geralmente estão localizados em centros urbanos distantes, tornando a operação economicamente inviável. Adicionalmente, é relatado que programas de responsabilidade estendida do produtor nem sempre atendem a essas comunidades, que acabam pagando taxas ambientais sobre os produtos, sem receberem os serviços de coleta em contrapartida (Oyegunle; Thompson, 2018).

3.4 Tecnologias Ambientais/Sociais na Gestão de Resíduos Sólidos

O papel das tecnologias sociais e educacionais, são destaques como fatores cruciais para a mudança de comportamento e o sucesso dos programas de gestão de resíduos em comunidades indígenas. Uma das estratégias mais eficazes identificadas é a aprendizagem intergeracional, impulsionada por programas de educação ambiental em escolas.

A transmissão de conhecimento ambiental em comunidades indígenas ocorre tradicionalmente de forma intergeracional, com os mais velhos e guardiões do saber ensinando as gerações mais jovens por meio de práticas como a contação de histórias e o aprendizado na terra (Assuah; Johansen, 2023). Contudo, os estudos também revelam a ocorrência de um fluxo reverso de aprendizado, especialmente em relação a resíduos modernos.

Em comunidades das Primeiras Nações no Canadá, foi relatado que crianças e jovens, ao aprenderem sobre reciclagem e compostagem na escola, atuam como agentes de mudança, ensinando seus pais e avós. Essa transferência de conhecimento resultou em mudanças concretas no comportamento doméstico, como o início da separação de resíduos, mesmo antes da existência de programas comunitários formais (Assuah, 2025; Assuah; Johansen, 2023). A demanda por essa abordagem educacional também foi identificada em outros contextos, como na Terra Indígena Rio das Cobras, onde estudantes expressaram a necessidade de fortalecer a educação ambiental nas escolas (Cornélio *et al.*, 2019).

O engajamento comunitário por meio de ações coletivas é outra tecnologia social destacada. A realização de mutirões de limpeza comunitária foi identificada como uma prática de sustentabilidade social em comunidades rurais na África do Sul, sendo considerada de alta importância pelos moradores para a manutenção de um ambiente limpo e o fortalecimento da coesão social (Madonsela, B. S. *et al.*, 2024). O estudo de Assuah (2025) sugere que a eficácia da ação coletiva para promover mudanças comportamentais sustentáveis depende de sua natureza voluntária ou obrigatória e não remunerada. A pesquisa ressalta, ainda, que a combinação dessa ação com esforços educacionais é fundamental para alcançar esse resultado nas comunidades indígenas.

Por fim, evidencia-se a dimensão socioeconômica da gestão de resíduos, em que o empreendedorismo e a atividade econômica funcionam como tecnologias sociais. Um estudo detalha um modelo de Economia Circular Social que propõe o aproveitamento de estruturas sociais existentes, como instituições e redes de mulheres indígenas na África, para a criação de empresas formais de gestão de resíduos, a exemplo da bioconversão por meio de larvas de BSF (Chineme *et al.*, 2022). De forma complementar, também foi documentada a atividade econômica com resíduos como estratégia de subsistência em contextos de alta vulnerabilidade social. Em comunidades rurais na África do Sul com altas taxas de desemprego, o comércio e a reciclagem de resíduos são percebidos como mecanismos essenciais para a geração de renda e o alívio da pobreza (Madonsela, B. S. *et al.*, 2024).

3.5 Práticas Inadequadas e Tecnologias de Contenção

A ausência de sistemas formais de gestão e de infraestrutura adequada em muitas comunidades indígenas resulta na prevalência de práticas de descarte inadequadas, com sérias consequências ambientais e de saúde. A queima de resíduos a céu aberto é descrita como o método de descarte mais comum, adotado pela maioria das famílias em diversas localidades. Estudos relatam que esta prática é utilizada para reduzir o volume do lixo e controlar pragas, sendo aplicada a uma vasta gama de resíduos, incluindo plásticos, pneus, lixo eletrônico e até mesmo resíduos hospitalares (Cornélio *et al.*, 2019; Oyegunle; Thompson, 2018; Senekane; Makhene; Oelofse, 2022).

A percepção do risco associado é documentada no conhecimento local, como entre os Gavião Pyhcop Catiji, que classificam a fumaça resultante da queima de materiais industrializados como “lixo veneno”. Essa classificação não se refere ao material em si, mas ao perigo que ele manifesta ao ser queimado. Resíduos como plástico, pneus e isopor, que produzem fumaça preta e tóxica durante a combustão, enquadram-se nesta categoria. Uma prática específica relatada é o uso de sacolas plásticas como catalisador de pequenos incêndios domésticos, usados para cozinhar ou aquecer as casas, uma atividade diária para algumas mulheres há mais de 50 anos. Apesar da percepção do risco associado à fumaça, esses materiais são geralmente queimados junto a outros resíduos (Melo; Lima; Ribeiro, 2023).

O descarte em lixões a céu aberto, em valas, nas margens de rios ou em poços de quintal também é uma prática generalizada. Análises de solo e de água comprovam a contaminação ambiental resultante dessas práticas. Em aterros não controlados de comunidades das Primeiras Nações no Canadá, foram encontradas concentrações de metais pesados, como arsênio, chumbo, cromo, zinco e cobre, que excediam as diretrizes ambientais, inclusive para solos de uso industrial. Nesses mesmos locais, amostras de água a jusante dos lixões revelaram contaminação por *E. coli* e coliformes totais acima dos níveis seguros para consumo e recreação (Oyegunle; Thompson, 2018).

Os estudos são unânimes em atribuir a predominância dessas práticas inadequadas à falta de tecnologias de contenção e de serviços básicos. A ausência de coleta domiciliar regular é citada como o principal fator que leva as famílias a queimar ou enterrar seus próprios resíduos. A carência de infraestrutura e de serviços é consistentemente associada à falta de financiamento e de políticas públicas adequadas para essas comunidades (Assuah; Sinclair, 2021).

Em contraponto a essas práticas inadequadas, o aterro sanitário projetado é indicado como a tecnologia de infraestrutura adequada para a disposição final de rejeitos. Diferentemente dos lixões a céu aberto, esta tecnologia requer componentes essenciais que são ausentes nas comunidades analisadas, como cercamento, cobertura diária do lixo e sistemas de coleta e tratamento de chorume (Oyegunle; Thompson, 2018). Embora o objetivo dos sistemas de gestão integrada seja desviar o máximo possível de resíduos dos aterros, eles são considerados um componente final necessário, mesmo em cenários otimizados de reciclagem e compostagem (Oliveira *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2025).

3.6 Tecnologias de planejamento e otimização de sistemas

Complementarmente às práticas e infraestruturas físicas, são aplicadas tecnologias de gestão e planejamento para a tomada de decisão em sistemas de resíduos. A ACV é citada como

uma ferramenta para quantificar e comparar os impactos ambientais de diferentes cenários de gestão de resíduos, como aterro versus reciclagem, ajudando a escolher a opção mais sustentável (Oliveira *et al.*, 2022).

O AHP é apresentado como um modelo de decisão multicritério que permite incorporar as prioridades da comunidade (ambientais, sociais e econômicas) na avaliação da sustentabilidade das práticas (Madonsela, B.S. *et al.*, 2024). A aplicação dessa ferramenta no referido estudo revelou, por exemplo, que os membros da comunidade priorizaram os critérios de sustentabilidade social e ambiental acima dos critérios econômicos na avaliação das práticas de gestão.

Finalmente, em contextos geograficamente complexos, são descritos modelos de otimização matemática, como o *Stochastic Inexact Mixed-Integer Fractional Optimization* (Simfo), para planejar a logística e a operação de sistemas de gestão de resíduos, visando maximizar a eficiência e minimizar custos sob condições de incerteza (Wang *et al.*, 2025).

4 DISCUSSÃO

A análise dos estudos revela um paradoxo central na gestão de resíduos sólidos em territórios indígenas. Por um lado, as comunidades possuem uma base cultural robusta e um conhecimento tradicional para a sustentabilidade, focado na reciprocidade, em uma lógica preventiva e na utilização integral de recursos e circularidade (Assuah, 2023; 2025; Begg; N'Yeurt; Begg, 2023; Melo; Lima; Ribeiro, 2023; Senekane; Makhene; Oelofse, 2022). Esse ethos se fundamenta no princípio de reciprocidade em que o ato de extrair da natureza é equilibrado com o de retribuir, garantindo que os recursos permaneçam disponíveis para as gerações futuras (Turner; Cuerrier; Joseph, 2022).

Por outro lado, essa ética de cuidado é confrontada por uma realidade material oposta: a crescente presença de resíduos industrializados não biodegradáveis (Cornélio *et al.*, 2019; Melo; Lima; Ribeiro, 2023) e um déficit crônico de infraestrutura física básica, como sistemas de coleta e aterros sanitários (Oyegunle; Thompson, 2018). Essa carência estrutural resulta na prevalência de práticas de descarte inadequadas, como a queima a céu aberto e o despejo em lixões não controlados (Assuah; Sinclair, 2021; Cornélio *et al.*, 2019; Melo; Lima; Ribeiro, 2023; Oyegunle; Thompson, 2018; Senekane; Makhene; Oelofse, 2022). Tais práticas comprometem gravemente a saúde pública por meio da propagação de vetores de doenças e da contaminação de recursos vitais, além de causarem poluição generalizada do ar, da água e do solo (Abubakar *et al.*, 2022).

Os resultados demonstram que as soluções sustentáveis mais eficazes emergem da aplicação de tecnologias ambientais/sociais, como a educação, o engajamento comunitário e o empreendedorismo social, que servem como motor para a adoção de tecnologias biológicas e físicas (Assuah, 2025; Assuah; Johansen, 2023; Chineme *et al.*, 2022; Madonsela *et al.*, 2024). Ao responder à questão central desta revisão, sobre como as tecnologias ambientais se articulam com os saberes tradicionais, os resultados indicam que essa articulação se revela complexa, marcada por uma dinâmica de dualidade em que coexistem tanto sinergias quanto profundas tensões.

A tensão central reside na aplicação de um CTI, desenvolvido para um mundo de resíduos biodegradáveis, a um problema material contemporâneo: os resíduos industrializados. O CTI demonstra alta sofisticação no manejo do mundo orgânico, como visto nas técnicas de compostagem do povo iTaukei (Begg; N'Yeurt; Begg, 2023), no uso multifuncional da cinza (molara) no Lesoto (Senekane; Makhene; Oelofse, 2022) ou na classificação do “nosso lixo”

(orgânico) entre os Gavião Pyhcop Catiji (Melo; Lima; Ribeiro, 2023). Esses achados corroboram a literatura antropológica, que indica que, em muitas comunidades indígenas, a própria noção de resíduo como algo a ser descartado é praticamente inexistente (Siragusa e Arzyutov, 2020).

Contudo, esse saber ancestral não possui mecanismos preestabelecidos para processar a materialidade e a persistência química dos resíduos industriais, como os plásticos e os metais (Oyegunle; Thompson, 2018). Consequentemente, uma prática tradicional (queima) é aplicada a um material moderno, resultando em riscos percebidos localmente como o “lixo veneno” (Melo; Lima; Ribeiro, 2023). A literatura científica externa corrobora essa percepção de risco, detalhando que a queima a céu aberto libera substâncias químicas nocivas, incluindo dioxinas, ftalatos e metais pesados como arsênico e cádmio, que podem levar a sérios problemas de saúde, como câncer e doenças respiratórias (Ramadan *et al.*, 2023; Velis; Cook, 2021). Essa desconexão entre os valores culturais de proteção ambiental e a realidade do descarte inadequado é um tema recorrente.

Embora a tensão entre o CTI e os resíduos industriais revele os limites do saber ancestral, ela também ressalta a relevância contemporânea de seus princípios ecológicos subjacentes. Práticas como “pegar apenas o necessário” e “não desperdiçar” são descritas como ensinamentos ancestrais que promovem uma relação de respeito e interdependência com a terra (Assuah, 2023, 2025). Essa ética, que busca a reintegração de materiais aos ciclos de vida, em vez do mero descarte – como visto na valorização da cinza ou na utilização integral de recursos –, evidencia uma compreensão distinta e relacional da interação sociedade-ambiente. Tais princípios dialogam diretamente com abordagens contemporâneas, como a redução na fonte e a economia circular, que igualmente defendem o uso racional dos recursos e a maximização de seu aproveitamento (Chauhan; Kaul; Maheshwari, 2022).

Nessa lógica preventiva, o compartilhamento comunitário também emerge como um princípio estruturante. Os achados desta revisão identificaram a partilha de alimentos e bens, especialmente com os mais velhos, como um mecanismo social que previne o acúmulo e o desperdício (Assuah, 2023). Essa estratégia tradicional se alinha aos princípios atuais da economia circular, os quais demonstram que a redução da necessidade de novas aquisições contribui efetivamente para a diminuição dos encargos ambientais relacionados ao desperdício (Makov *et al.*, 2020). Portanto, observa-se que essa prática transcende o aspecto material, fortalecendo os laços sociais e a coesão comunitária, e demonstra como valores culturais estão intrinsecamente ligados à sustentabilidade ambiental.

O paradoxo central identificado nesta revisão pode ser compreendido em um contexto mais amplo. A introdução de produtos industrializados e de resíduos não biodegradáveis representa uma das dimensões materiais do colonialismo, que impôs novos padrões de consumo e de descarte a comunidades tradicionalmente organizadas sob lógicas ecológicas circulares (Liboiron, 2021; Todd, 2016). Essa perspectiva teórica elucida diretamente o fenômeno da desconexão encontrado nos resultados, em que a presença de “lixo veneno” e a contaminação por metais pesados mostram que a alteração não ocorreu apenas nos fluxos materiais, mas também desestabilizou os sistemas simbólicos e de saúde associados ao manejo dos resíduos (Melo; Lima; Ribeiro, 2023; Oyegunle; Thompson, 2018). Entretanto, as comunidades indígenas não atuam como receptoras passivas dessas mudanças.

Os achados indicam que práticas modernas, como a reciclagem e o reuso de materiais, são frequentemente reinterpretadas e incorporadas pelas comunidades (Assuah, 2025; Assuah;

Johansen, 2023; Assuah; Sinclair, 2021). Esse processo é mediado por valores culturais ancestrais de respeito, reciprocidade e proteção à terra – princípios fundamentais descritos na literatura externa (Ataria *et al.*, 2023; Kimmerer, 2013). Isso é visível nos resultados desta revisão, em que a classificação do “lixo veneno” não é apenas uma descrição técnica de risco, mas uma declaração ética sobre o material (Melo; Lima; Ribeiro, 2023). Nesses contextos, a gestão de resíduos é concebida não como uma tarefa puramente logística, mas como uma responsabilidade cultural e espiritual, orientada pela obrigação de manter o equilíbrio. É essa mesma ética que fundamenta a decisão de comunidades de priorizar a sustentabilidade social e ambiental acima de critérios econômicos em modelos de planejamento, conforme identificado no estudo de Madonsela, B.S. *et al.* (2024).

Essa ressignificação, portanto, desafia a racionalidade moderna-colonial que separa natureza e cultura (Escobar, 2018). Nesse sentido, as tecnologias sociais identificadas nesta revisão não são meros suportes operacionais, mas a manifestação prática dessa visão integrada. Iniciativas como a aprendizagem intergeracional impulsionada por escolas, os mutirões de limpeza e o empreendedorismo social baseado em redes femininas (Assuah, 2025; Assuah; Johansen, 2023; Chineme *et al.*, 2022; Madonsela, B.S. *et al.*, 2024) constituem o que pode ser definido como uma tecnologia ambiental social. Elas representam uma forma de práxis decolonial, construída a partir da articulação entre saberes tradicionais e a necessidade de soluções contemporâneas.

Uma das constatações mais significativas desta revisão é que tecnologias físicas (infraestrutura), por si só, são insuficientes se dissociadas das tecnologias sociais. A falha de abordagens de cima para baixo (*top-down*) já é amplamente documentada em pesquisas sobre desenvolvimento, que indicam que a infraestrutura planejada sem o engajamento comunitário tende à subutilização e ao fracasso (Sumari; Pauline; Bwanduruko Mabhuye, 2025). Um exemplo é o caso de estações de transferência mal gerenciadas, cuja falta de adesão local compromete sua eficácia (Assuah; Sinclair, 2021). A implementação de soluções técnicas sem o consentimento e a participação ativa da comunidade enfraquece a soberania local ao ignorar o conhecimento indígena, os contextos culturais e a capacidade de autodeterminação da comunidade. Essa abordagem resulta frequentemente em resistência e resultados insustentáveis, reforçando a necessidade crítica de modelos inclusivos e participativos, conforme argumentado por Isidiho e Sabran (2016).

Em contraste, o sucesso emerge quando as tecnologias sociais são ativadas primeiro. O exemplo da aprendizagem intergeracional, em que crianças ensinam os pais sobre reciclagem, demonstra que a mudança de comportamento pode preceder e até impulsionar a criação de infraestrutura (Assuah, 2025; Assuah; Johansen, 2023). Da mesma forma, o modelo de empreendedorismo feminino funciona por se ancorar em redes sociais e de confiança já existentes, em vez de tentar criar novas estruturas do zero (Chineme *et al.*, 2022). As tecnologias ambientais/sociais, portanto, transcendem o papel de mero complemento; elas atuam como o verdadeiro motor da mudança e da sustentabilidade nos territórios indígenas.

A dinâmica entre as abordagens de baixo para cima (*bottom-up*) e de cima para baixo (*top-down*) permeia todas as categorias tecnológicas identificadas. Práticas como a compostagem doméstica e a reutilização criativa (Assuah, 2023; Begg; N’Yeurt; Begg, 2023; Melo; Lima; Ribeiro, 2023; Senekane; Makhene; Oelofse, 2022) exemplificam soluções endógenas, de baixo custo e baseadas no conhecimento local. Em contraste, tecnologias como a bioconversão por larvas de mosca-soldado-negro (BSF) (Chineme *et al.*, 2022) representam soluções exógenas, concebidas

tecnicamente fora do contexto comunitário. No entanto, sua viabilidade em territórios indígenas é proposta justamente por meio de sua integração a modelos locais de empreendedorismo social. Essa configuração híbrida se aproxima do conceito de tecnologia apropriada (Schumacher, 2010), que privilegia soluções de pequena escala, socialmente controladas e economicamente acessíveis, ajustadas às condições e capacidades locais.

Uma implicação recorrente dos estudos revisados é a necessidade de que as políticas públicas transcendam o foco exclusivo na infraestrutura física. Os achados sugerem que o financiamento deve parar de focar apenas em tecnologias duras (*hard technologies*) — como aterros sanitários e frotas de coleta —, que se revelam insuficientes e ineficazes quando implementadas de forma isolada e desarticulada das dinâmicas sociais locais (Assuah; Sinclair, 2021; Oyegunle; Thompson, 2018), conforme evidenciado pelos problemas operacionais identificados nesta revisão e corroborado pela literatura externa (Aulia *et al.*, 2025). Assim, governos e agências de fomento devem transitar de um modelo de provisão de serviços para um modelo de facilitação da autodeterminação, apoiando formas locais de gestão ambiental e reconhecendo a legitimidade das estruturas de governança indígena (McGregor; Whitaker; Sritharan, 2020).

Na prática, essa transição exige que as políticas de gestão de resíduos priorizem o investimento em tecnologias brandas (*soft technologies*), voltadas à educação ambiental continuada, ao fortalecimento de capacidades comunitárias e à promoção do engajamento social. Essa mudança implica não apenas financiar, mas também coproduzir políticas com base em epistemologias plurais, garantindo que o conhecimento tradicional oriente o desenho e a implementação de soluções ambientais (Guerra *et al.*, 2025).

Em síntese, a análise dos estudos evidencia que o encontro entre o conhecimento tradicional e a modernidade tecnológica é marcado por tensões e adaptações criativas. A incorporação seletiva de práticas modernas, mediada por valores culturais e espirituais, caracteriza uma forma de coprodução socioambiental, um tipo de tecnologia social em que o saber ancestral orienta o uso e a resignificação de instrumentos contemporâneos. Essa dinâmica reforça a importância de reconhecer o CTI não apenas como herança cultural, mas como matriz ativa de inovação sustentável, capaz de propor caminhos alternativos para a gestão ambiental no Antropoceno.

Os achados desta revisão devem ser considerados à luz de suas limitações. Primeiramente, identifica-se um viés geográfico, com a maioria dos estudos focados na América do Norte (principalmente no Canadá) e na África Austral (Lesoto, África do Sul), e contribuições mais escassas da América do Sul (Amazônia) e da Oceania (Fiji). O número restrito de artigos analisados, embora examinados em profundidade, limita a generalização dos resultados. Além disso, a inclusão de estudos de modelagem (como ACV e Simfo) oferece insights sobre planejamento, mas esses estudos não detalham se o planejamento foi realizado com as comunidades indígenas, apenas que as incluiu em suas simulações.

Com base nas lacunas identificadas, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem a representatividade regional, com maior ênfase em contextos subexplorados, como a América Latina e a Ásia, para compreender as práticas locais. Há também a necessidade de estudos sobre a viabilidade econômica e a escalabilidade a longo prazo de tecnologias promissoras, como o modelo de BSF em iniciativas de empreendedorismo indígena. A principal recomendação, contudo, é o avanço de pesquisas-ação participativas que testem, em contextos reais, a integração do CTI com ferramentas técnicas de planejamento ambiental, promovendo modelos híbridos de cogestão

(*bottom-up e top-down*). Finalmente, estudos voltados à economia e à logística da reciclagem em comunidades remotas são fundamentais para viabilizar a transição entre experimentação local e implementação em larga escala.

5 CONCLUSÕES

Esta revisão sistemática teve como objetivo analisar como as tecnologias ambientais se articulam com o Conhecimento Tradicional Indígena (CTI) para a gestão sustentável de resíduos. Conclui-se que a eficácia e a sustentabilidade dessas práticas não residem na implementação isolada de soluções técnicas, mas sim na sua profunda integração com as estruturas sociais e os valores locais.

O conhecimento indígena fornece a base ética, cultural e espiritual para a conservação e o manejo cuidadoso dos recursos, mas ele enfrenta desafios significativos com os resíduos industrializados modernos. As tecnologias modernas oferecem ferramentas e métodos para lidar com os desafios contemporâneos dos resíduos industrializados. Contudo, a superação desses desafios não depende apenas de infraestrutura física, mas, fundamentalmente, da ativação de tecnologias ambientais/sociais. A educação ambiental intergeracional, o engajamento comunitário e o fortalecimento de redes locais emergem como os verdadeiros motores da mudança.

Em última análise, a articulação bem-sucedida entre saberes ancestrais e ferramentas modernas caracteriza um processo de coprodução socioambiental. Portanto, este estudo aponta para a necessidade urgente de uma mudança de paradigma nas políticas públicas: a transição de modelos verticais para a cogestão, reconhecendo o CTI não apenas como herança cultural, mas como uma matriz ativa de inovação para soluções ambientalmente sustentáveis e culturalmente validadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo apoio e fomento ao projeto de pesquisa no âmbito do qual este artigo foi desenvolvido.

REFERÊNCIAS

ABUBAKAR, I. R.; MANIRUZZAMAN, K. M.; DANO, U. L.; ALSHIHRI, F. S.; ALSHAMMARI, M. S.; AHMED, S. M. S.; AL-GEHLANI, W. A. G.; ALRAWAF, T. I. Environmental sustainability impacts of solid waste management practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 19, p. 12717, 2022. DOI: 10.3390/ijerph191912717.

ASSUAH, A. “A lot of people ignore our culture when it comes to waste management”: examining the impacts of culture on solid waste management in two Canadian First Nations. *AlterNative*, v. 19, n. 2, p. 466-474, 2023. DOI: 10.1177/11771801231163635.

ASSUAH, A. An Indigenous learning approach to managing solid waste in First Nations in Canada. *AlterNative*, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 159-168, 2025. DOI: 10.1177/11771801241312429.

ASSUAH, A.; JOHANSEN, S. “They taught the children in school and it was them that came home to teach me”: community perspectives on how students influenced recycling attitudes and behaviours in a remote First Nation in Canada. *Journal of Rural and Community Development*, v. 18, n. 1, p. 118-139, 2023.

ASSUAH, A.; SINCLAIR, A. J. Solid waste management in western Canadian First Nations. *Waste Management*, [S. l.], v. 129, p. 54-61, 2021. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.05.007.

ATARIA, J. M.; MURPHY, M.; MCGREGOR, D.; CHIBLOW, S.; MOGGRIDGE, B. J.; HIKUROA, D. C. H.; TREMBLAY, L. A.; ÖBERG, G.; BAKER, V.; BROOKS, B. W. Orienting the sustainable management of chemicals and waste toward Indigenous knowledge. *Environmental Science & Technology*, v. 57, n. 30, p. 10901-10903, 2023. DOI: 10.1021/acs.est.3c04600.

AULIA, W.; SANTOSA, I.; DRSAS, M. I.; NUGRAHA, A. Aligning local conditions with innovative waste solutions: a study on community adoption in Indonesia. *Journal of Posthumanism*, v. 5, n. 5, p. 356-378, 2025. DOI: 10.63332/joph.v5i5.1346.

BEGG, S.; N'YEURT, A.; BEGG, S. Interweaving resource management with Indigenous knowledge to build community resilience in the Pacific Islands: case of the Waimanu Catchment in Viti Levu, Fiji. *Regional Environmental Change*, v. 23, n. 3, 2023. DOI: 10.1007/s10113-023-02079-2.

BERKES, F. *Sacred ecology*. 4. ed. New York: Routledge, 2018.

CHAUHAN, R.; KAUL, V.; MAHESHWARI, N. Indian Indigenous knowledge system: sustainable approach toward waste management. In: *Emerging trends to approaching zero waste*. Elsevier, 2022. p. 37-57. DOI: 10.1016/B978-0-323-85403-0.00002-5.

CHINEME, A.; ASSEFA, G.; HERREMANS, I. M.; WYLANT, B.; SHUMO, M. African Indigenous female entrepreneurs (IFÉs): a closed-looped social circular economy waste management model. *Sustainability*, v. 14, n. 18, 2022. DOI: 10.3390/su141811628.

CORNÉLIO, I.; MOURA, G. S.; STOFFEL, J.; MUELBERT, B. Estudo dos resíduos sólidos domésticos da terra indígena Rio das Cobras no município de Nova Laranjeiras, PR. *Interações*, p. 575-584, 2019.

CUNHA, M. C. da. *Cultura com aspas: e outros ensaios*. São Paulo: Cosac & Naify, 2009.

CUNHA, M. C. da; MAGALHÃES, S. B.; ADAMS, C. Conhecimentos associados à biodiversidade. In: *Povos tradicionais e biodiversidade no Brasil*. São Paulo: SBPC, 2021. v. 8, p. 278.

ESCOBAR, A. *Designs for the pluriverse: radical interdependence, autonomy, and the making of worlds*. Durham: Duke University Press, 2018.

GUERRA, A. de L. e R.; PURIFICAÇÃO, M. M.; AUGUSTO, E. A.; LEÃO, U. D. F.; CONTARIN, J.; SILVA, A. B. da; FRASCÁ, F. de N.; CATARINO, E. M. Saberes tradicionais no contexto CTS: contribuições para uma ciência plural e intercultural. *Cadernos Cajuína*, v. 10, n. 3, 2025. DOI: 10.52641/cadcajv10i3.1080.

ISIDIHO, A. O.; SABRAN, M. S. B. Evaluating the top-bottom and bottom-up community development approaches. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, v. 7, n. 4, p. 266, 2016.

JOSEPH, L.; TURNER, N. J. "The old foods are the new foods!": erosion and revitalization of Indigenous food systems in Northwestern North America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, 2020. DOI: 10.3389/fsufs.2020.596237.

KIMMERER, R. W. *Braiding sweetgrass: Indigenous wisdom, scientific knowledge and the teachings of plants*. Minneapolis: Milkweed Editions, 2013.

LIBOIRON, M. *Pollution is colonialism*. Durham: Duke University Press, 2021.

LIMA, P. de M.; MORAIS, M. F. de; CONSTANTINO, M. A.; PAULO, P. L.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C. Environmental assessment of waste handling in rural Brazil: improvements towards circular economy.

Cleaner Environmental Systems, v. 2, p. 100013, 2021. DOI: 10.1016/j.cesys.2021.100013.

MADONSELA, B. S.; MACHETE, M.; SHALE, K. Indigenous knowledge systems of solid waste management in Bushbuckridge rural communities, South Africa. *Waste*, v. 2, n. 3, p. 293-311, 2024. DOI: 10.3390/waste2030017.

MADONSELA, B. S.; SEMENYA, K.; SHALE, K. A review of Indigenous knowledge systems and their application in sustainable solid waste management. *World*, v. 5, n. 2, p. 219-239, 2024. DOI: 10.3390/world5020012.

MADONSELA, B. S.; SEMENYA, K.; SHALE, K.; MADUNA, L. Sustainability of Indigenous solid waste management practices in rural communities of South Africa. *Recycling*, v. 9, n. 6, 2024. DOI: 10.3390/recycling9060113.

MCGREGOR, D.; WHITAKER, S.; SRITHARAN, M. Indigenous environmental justice and sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 43, p. 35-40, 2020. DOI: 10.1016/j.cosust.2020.01.007.

MAKOV, T.; SHEPON, A.; KRONES, J.; GUPTA, C.; CHERTOW, M. Social and environmental analysis of food waste abatement via the peer-to-peer sharing economy. *Nature Communications*, v. 11, n. 1, p. 1156, 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-14899-5.

MELO, M.; LIMA, A. A. de; RIBEIRO, F. D. Waste and disposal in Indigenous lands: the experience of the Gavião Pyhcop Catiji with solid waste in the Amazon (Brazil). *Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology*, v. 20, p. e20908, 2023. DOI: 10.1590/1809-43412023v20d908.

OLIVEIRA, B. O. S. D.; DE MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; PAES, M. X.; GIANELLI, B. F. Eco-efficiency transition applied to municipal solid waste management in the Amazon. *Journal of Cleaner Production*, v. 373, 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.133807.

OYEGUNLE, A.; THOMPSON, S. Wasting Indigenous communities: a case study with Garden Hill and Wasagamack First Nations in northern Manitoba, Canada. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, v. 44, n. 3, p. 232-247, 2018. DOI: 10.5276/JSWTM.2018.232.

POSEY, D. A. Indigenous management of tropical forest ecosystems: the case of the Kayapó Indians of the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, v. 3, n. 2, p. 139-158, 1985. DOI: 10.1007/BF00122640.

PRAJAPATI, P.; VARJANI, S.; SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; AWASTHI, M. K.; SINDHU, R.; ZHANG, Z.; BINOD, P.; AWASTHI, S. K.; CHATURVEDI, P. Critical review on technological advancements for effective waste management of municipal solid waste: updates and way forward. *Environmental Technology & Innovation*, v. 23, p. 101749, 2021. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101749.

PRISMA STATEMENT. *PRISMA statement*. 2025. Disponível em: <https://www.prisma-statement.org>. Acesso em: 6 set. 2025.

RAMADAN, B.; ROSMALINA, R.; RACHMAN, I.; MATSUMOTO, T. Revealing the hidden toxin of the bottom ashes from open municipal waste burning. In: CEST2023, 2023, Athens. Anais [...]. Athens: CEST, 2023. DOI: 10.30955/gnc2023.00397.

SCHUMACHER, E. F. *Small is beautiful: economics as if people mattered*. New York: Harper Perennial, 2010.

SENEKANE, M. F.; MAKHENE, A.; OELOFSE, S. A critical analysis of Indigenous systems and practices of solid waste management in rural communities: the case of Maseru in Lesotho. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 18, 2022. DOI: 10.3390/ijerph191811654.

SILVA, R. J. N. da; GARAVELLO, M. E. de P. E. Alterações nas estratégias de subsistência: o caso dos índios brasileiros Xavantes. *Segurança Alimentar e Nutricional*, v. 16, n. 1, p. 32-48, 2015. DOI: 10.20396/san.

v16i1.1810.

SIRAGUSA, L.; ARZYUTOV, D. Nothing goes to waste: sustainable practices of re-use among Indigenous groups in the Russian North. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, [S. l.], v. 43, p. 41-48, 2020. DOI: 10.1016/j.cosust.2020.02.001.

SUMARI, B. K.; PAULINE, N.; BWANDURUKO MABHUYE, E. Integrating bottom-up and top-down approaches in Tanzania's climate change adaptation planning. *The Journal of Development Studies*, v. 61, n. 6, p. 851-868, 2025. DOI: 10.1080/00220388.2024.2428608.

TODD, Z. An Indigenous feminist's take on the ontological turn: ontology is just another word for colonialism. *Journal of Historical Sociology*, v. 29, n. 1, p. 4-22, 2016. DOI: 10.1111/johs.12124.

TURNER, N. J.; CUERRIER, A.; JOSEPH, L. Well grounded: Indigenous Peoples' knowledge, ethnobiology and sustainability. *People and Nature*, v. 4, n. 3, p. 627-651, 2022. DOI: 10.1002/pan3.10321.

VELIS, C. A.; COOK, E. Mismanagement of plastic waste through open burning with emphasis on the Global South: a systematic review of risks to occupational and public health. *Environmental Science & Technology*, v. 55, n. 11, p. 7186-7207, 2021. DOI: 10.1021/acs.est.0c08536.

WANG, Z.; LU, Z.; CHEN, X.; HUANG, G.; AN, C. Improving efficiency and sustainability of the waste-economy-environment nexus in isolated island communities: a stochastic inexact mixed-integer fractional optimization model. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 197, 2025. DOI: 10.1016/j.psep.2025.107003.

Sobre os autores:

Denise M. S. Alves: Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Integrante do Grupo de Pesquisa Saneamento e Geotecnia Ambiental da UFMA. **E-mail:** dms.alves@discente.ufma.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0009-0002-5025-6066>

Claudio Luis de Araujo Neto: Doutor em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, especialista em Educação e em Gestão e Auditoria Ambiental, graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e licenciado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal da Paraíba (UEPB). Professor do Curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Coordenador do Grupo de Pesquisa Saneamento e Geotecnia Ambiental e do Laboratório de Geotecnia Ambiental (CCBL/UFMA). Integrante do Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde coordena o subgrupo de ensaios geotécnicos. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária, com ênfase em Geotecnia Ambiental, Resíduos Sólidos Urbanos e Aterro Sanitário. **E-mail:** claudio.neto@ufma.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-7281-0705>

Amanda Paiva Farias: Doutora em Engenharia Civil e Ambiental, com ênfase em Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, e especialista em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido pelo Instituto Federal da Paraíba (IFPB). Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). **E-mail:** amandapaiva.farias@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-0336-5163>

Disponibilidade de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

Editores Avaliadores do artigo: Antonio Zanin e Eléia Righi.

Editores-chefes responsáveis pelo artigo: Arlinda Cantero Dorsa e George Henrique de Cunha.
