



03 a 05 de dezembro de 2025

## As Engenharias na Transformação Digital das PMEs

### Sustentabilidade Tecnológica: Uma Análise da Interseção da Antropotecnologia e Transferência de Tecnologia nos Programas de Recuperação Energética a partir de Resíduos Sólidos no Contexto Brasileiro

**Maria Isabel Coltro Crovador**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**Ariel Orlei Michaloski**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**João Luiz Kovalski**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**Waldir Nagel Schirmer**

Departamento de Engenharia Ambiental / Programa de Pós-Graduação em Bioenergia (PPGB) – Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

**Resumo:** O presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática de literatura para analisar de que maneira a aplicação dos preceitos da antropotecnologia, aliada a uma transferência de tecnologia efetiva, pode contribuir para o progresso e a sustentabilidade dos programas de aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos no Brasil. Foi realizada uma revisão sistemática de literatura utilizando o Bibliometrix, com um recorte temporal de 2019 a 2024. Foram selecionados os artigos científicos mais relevantes publicados no período, utilizando os descritores technology transfer, anthropotechnology, landfill biogas, bioenergy e municipal solid waste; nas bases de dados Science Direct, Web of Science e Scopus. O corpus de pesquisa considerou os 13 artigos mais citados para análise e resolução da pergunta de pesquisa. A análise qualitativa foi realizada com uso do software NVivo, versão 14. A análise qualitativa revelou que os termos mais frequentes no corpus de pesquisa foram: resíduos, tecnologia, energia, desenvolvimento, sustentável, gerenciamento, transferência (de tecnologia), combustíveis, resíduos sólidos municipais (MSW), entre outros. Identificou-se que existe uma linha clara de interseção entre a recuperação energética a partir de resíduos sólidos e a transferência de tecnologia, que para ser efetiva depende da aplicação de preceitos antropotecnológicos, garantindo a adaptação da tecnologia às condições locais e culturais do receptor. Pouco explorada na literatura, a Antropotecnologia traz ferramentas úteis para aumentar a efetividade da transferência de tecnologia. Um diagnóstico antropotecnológico deveria ser pré-requisito fundamental para o início de um processo de transferência de tecnologia no âmbito do desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Biogás de aterro sanitário, Bioenergia, Resíduo sólido urbano, Recuperação energética, Valorização de resíduos orgânicos.

**Technological sustainability: An analysis of the intersection of Anthropotechnology and Technology Transfer in energy recovery programs from solid waste in the Brazilian context**

**Abstract:** The present study aimed to conduct a systematic literature review to analyze how the application of anthropotechnology principles, coupled with effective technology transfer, can contribute to the progress and sustainability of energy recovery programs from solid waste in Brazil. A systematic literature review was carried out using Bibliometrix, with a temporal scope from 2019 to 2024. The most relevant scientific articles published during this period were selected, utilizing descriptors such as technology transfer, anthropotechnology, landfill biogas, bioenergy, and municipal solid waste, from the databases Science Direct, Web of Science, and Scopus. The research corpus considered the 13 most cited articles for analysis and resolution of the research question. Qualitative analysis was conducted using NVivo software, version 14. The qualitative analysis revealed that the most frequent terms in the research corpus were: waste, technology, energy, development, sustainable, management, technology transfer, fuels, municipal solid waste (MSW), among others. It was identified that there is a clear intersection between energy recovery from solid waste and technology transfer, which, to be effective, depends on the application of anthropotechnological principles, ensuring the adaptation of technology to the local and cultural conditions of the receiver. Largely unexplored in the literature, Anthropotechnology provides useful tools to enhance the effectiveness of technology transfer. An anthropotechnological diagnosis should be a fundamental prerequisite for initiating a technology transfer process within the scope of sustainable development.

**Keywords:** Landfill biogas, Bioenergy, Municipal solid waste, Energy recovery, Organic wastes valorization.

## 1. Introdução

A gestão dos resíduos sólidos municipais (RSM) é um dos maiores problemas não só no Brasil, mas também na América Latina (TISI *et al.*, 2023). Ao mesmo tempo em que os resíduos sólidos municipais apresentam risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente, esses resíduos vêm progressivamente sendo considerados como recursos renováveis importantes. Em todo o mundo, diversos esforços têm sido empreendidos para desenvolver uma gestão sistemática dos RSM, integrando tecnologias para tratamento e aproveitamento de recursos (TTRU - treatment and resource utilization), visando maximizar sua utilização e minimizar seu impacto ambiental (DING *et al.*, 2021).

Conforme afirmam Jalalipour *et al.* (2021), os países em desenvolvimento enfrentam significativos desafios ambientais, sociais e econômicos no gerenciamento de resíduos sólidos, como a ausência de políticas abrangentes, falta de know-how técnico, escassez de recursos financeiros e ausência de instalações adequadas para a disposição dos resíduos.

A transferência de tecnologia é um meio de implementar o desenvolvimento sustentável, por meio da disseminação de tecnologias limpas e do desenvolvimento tecnológico. Se forem alinhados os objetivos, fluxo e tecnologia com metas sustentáveis, é possível promover resultados positivos não só para o eixo econômico, beneficiando também os eixos ambiental e social (CORSI *et al.*, 2021a).

Em comparação com países desenvolvidos, o Brasil possui uma defasagem de mais de 50 anos em termos de gestão de resíduos. Considerada por muitos países uma prática ultrapassada e não sustentável, o aterramento de resíduos ainda é endossado no Brasil como uma técnica ambientalmente adequada, conforme dispõe a Política Nacional de Resíduos Sólidos, do ano de 2010 (TISI *et al.*, 2023).

A gestão sustentável de resíduos sólidos tornou-se uma preocupação global, impulsionando a busca por soluções inovadoras que unam eficiência tecnológica e boas práticas socioambientais.

O biogás é uma fonte de energia limpa gerada a partir de resíduos orgânicos (BUDIMAN, 2021). No contexto brasileiro, onde a crescente demanda por energia renovável se entrelaça com desafios na gestão de resíduos, programas de aproveitamento de biogás em aterros sanitários emergem como uma alternativa interessante. No entanto, a eficácia

desses programas depende não apenas da aplicação de tecnologias avançadas, mas também da integração harmoniosa com as particularidades sociais e culturais das comunidades afetadas.

A Antropotecnologia, como disciplina que busca a harmonia entre tecnologia e sociedade, surge como um elemento fundamental na implementação de soluções tecnológicas que respeitem e incorporem a diversidade cultural e social do país. Nesse sentido, a transferência de tecnologia desempenha um papel crucial, conectando inovações científicas a aplicações práticas e possibilitando a disseminação de conhecimentos em comunidades específicas. No entanto, compreender como essa transferência ocorre de maneira efetiva, considerando as particularidades do contexto brasileiro, é essencial para o sucesso e a sustentabilidade dos programas de aproveitamento do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Embora a literatura sobre tratamento e disposição final de resíduos sólidos e sobre transferência de tecnologia seja vasta considerando os termos separadamente, a interrelação dos mesmos ainda não foi estudada de forma abrangente. Além disso, a antropotecnologia surge como um tópico ainda pouco explorado na literatura, e suas interferências no processo de transferência de tecnologia nos programas de recuperação energética a partir de resíduos sólidos seguem como uma lacuna a ser melhor compreendida e estudada no âmbito acadêmico e profissional.

O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática de literatura para analisar de que maneira a aplicação dos preceitos da antropotecnologia, aliada a uma transferência de tecnologia efetiva, pode contribuir para o progresso e a sustentabilidade dos programas de aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos no Brasil.

Com o foco na interseção entre antropotecnologia, transferência de tecnologia e o avanço de programas de aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos, principalmente no aproveitamento de biogás em aterros sanitários no Brasil, serão analisados estudos relevantes, casos de sucesso, desafios enfrentados e estratégias adotadas, com o objetivo de sintetizar as principais conclusões da literatura revisada a respeito do tema, buscando uma convergência entre tecnologia, fatores culturais e sustentabilidade ambiental, bem como apontar as principais tendências futuras que devem ditar o tratamento de resíduos sólidos e recuperação energética nos próximos anos.

## **2. Metodologia**

O presente estudo, caracterizado como uma revisão sistemática da literatura, utilizou o software Bibliometrix (ARIA; CUCCURULLO, 2017) para a construção do corpus de pesquisa, seguindo um processo meticuloso dividido em nove etapas:

- Etapa 1 - Estabelecimento da intenção de pesquisa: nesta etapa foram identificados os descritores e suas combinações mais adequadas para responder à pergunta: “Como a integração da antropotecnologia e a efetiva transferência de tecnologia podem influenciar o avanço dos programas de aproveitamento energético de biogás de aterros sanitários, considerando as particularidades sociais, culturais e tecnológicas no contexto brasileiro?”
- Etapa 2 - Pesquisa exploratória com os descritores nas bases de dados: os descritores e as combinações identificados na etapa 1 foram testados nas seguintes bases de dados: Science Direct, Web of Science e Scopus.
- Etapa 3 - Definição da combinação de descritores e bases de dados a serem utilizadas: as bases testadas na Etapa 2 foram aprovadas após constatar um volume significativo de publicações pertinentes e a ampla disponibilidade de acesso aos materiais nessas bases. Foi definida para a pesquisa a seguinte combinação de

descritores: (("technology transfer" OR "anthropotechnology") AND ("landfill biogas" OR "bioenergy" OR "municipal solid waste")), com um recorte temporal de cinco anos (2019 a 2024).

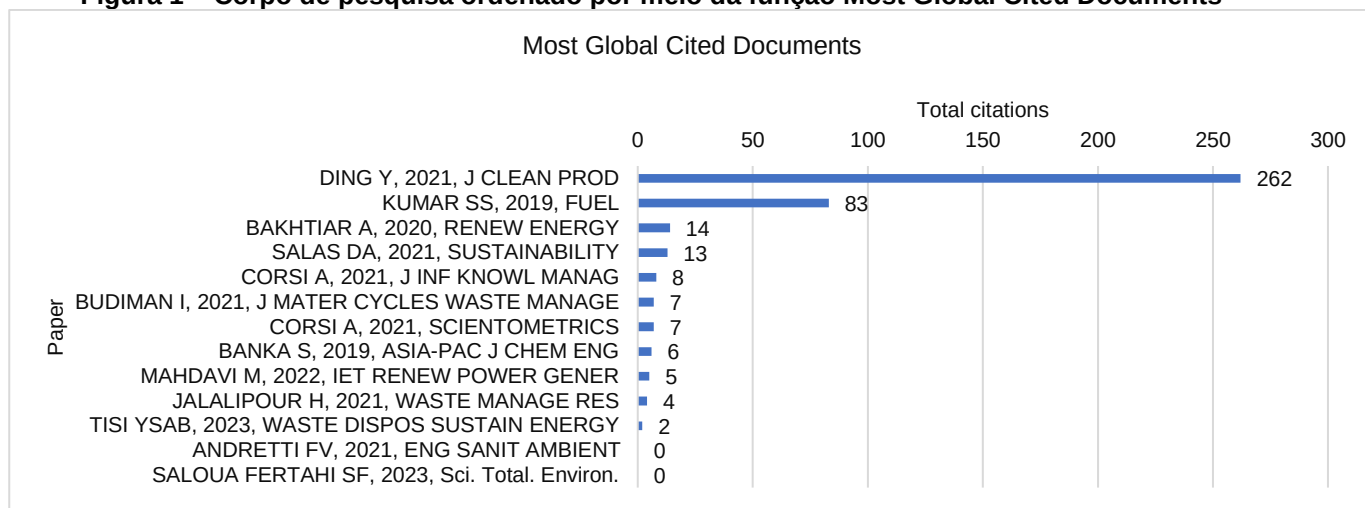
- Etapa 4 - Pesquisa definitiva nas bases de dados: a pesquisa definitiva resultou em um total bruto de 29 artigos (Science Direct – n=5; Scopus – n=13; Web of Science – n=11), e foi gerenciada através do software RStudio.
- Etapa 5 - Procedimentos de instalação e configuração: nesta etapa foram realizados os procedimentos de instalação e configuração dos softwares R e RStudio para preparar a ferramenta Bibliometrix para análises de dados.
- Etapa 6 - Procedimentos de junção e filtragem: nesta etapa, com utilização do software RStudio, foi realizada a unificação das bases de dados. Na sequência, foram eliminados os trabalhos duplicados, trabalhos apresentados em conferências sem fator de impacto, livros ou capítulos de livros e artigos sem aderência ao tema do estudo. Após a aplicação dos procedimentos de filtragem, com a remoção de 10 duplicatas, chegou-se em 19 artigos.
- Etapa 7 - Ordenação dos artigos por meio do Bibliometrix: a ordenação dos estudos foi feita utilizando a lei de Bradford, que organiza periódicos em ordem decrescente do número de artigos publicados sobre o assunto, formando zonas sucessivas com o mesmo número de artigos.
- Etapa 8 - Localização dos artigos em formato integral: a localização dos artigos em formato integral ocorreu através do Portal de Periódicos da CAPES, com acesso CAFe.
- Etapa 9 - Leitura e análise sistemática dos artigos: nesta etapa foi realizada a leitura sistemática dos artigos selecionados, resultando na exclusão de 6 dos 19 primeiros artigos mais citados globalmente por não apresentarem aderência ao tema da pesquisa, restando 13 artigos para o corpus de pesquisa. A análise considerou os desdobramentos da pergunta de pesquisa para mapear os principais debates e descobertas empíricas que delineiam a relação entre a Antropotecnologia e a Transferência de Tecnologia no âmbito do aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário.
- Etapa 10 – Análise qualitativa com o Software NVivo: por fim, na etapa 10 foi conduzida uma análise qualitativa com utilização do Software NVivo, com o objetivo de identificar os termos mais frequentes presentes no portfólio de pesquisa, por meio da nuvem de palavras, bem como a codificação do conteúdo em temas relevantes e composição hierárquica desses temas (Gráfico da Hierarquia dos Códigos).

### 3. Resultados

Os artigos mais citados globalmente, com aderência à proposta de pesquisa, estão representados na Figura 1, conforme ordenação obtida com o software Bibliometrix.

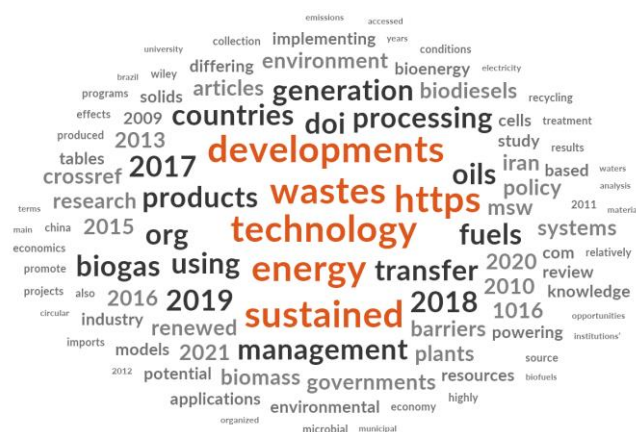
O portfólio de pesquisa resultante foi submetido à análise qualitativa, mediante uso do software NVivo, versão 14, com o qual foi construída a nuvem de palavras, contendo as 200 palavras mais frequentes nos artigos analisados, apresentada na Figura 2. Ainda com o software NVivo, o corpus de pesquisa foi codificado, identificando temas relevantes presentes nos artigos analisados, para elaboração do Gráfico da Hierarquia dos Códigos, conforme apresentado na Figura 3.

**Figura 1 – Corpo de pesquisa ordenado por meio da função Most Global Cited Documents**



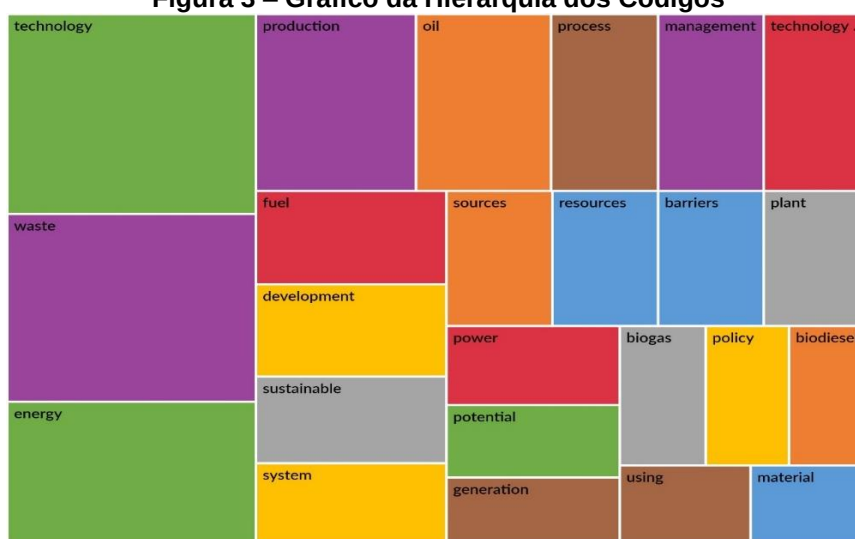
**Fonte: Autoria própria (2024)**

**Figura 2 – Nuvem de palavras mais frequentes no portfólio de pesquisa**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

**Figura 3 – Gráfico da Hierarquia dos Códigos**



**Fonte: Autoria própria (2024)**

#### 4. Discussão

O presente estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática de literatura para analisar de que maneira a aplicação dos preceitos da antropotecnologia, aliada a uma transferência de tecnologia efetiva, pode contribuir para o progresso e a sustentabilidade dos programas de aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos no Brasil, principalmente no que se refere ao aproveitamento de biogás em aterros sanitários. Com o recorte temporal de 2019 a 2024, foi obtido um portfólio que incluiu um total de 13 artigos, ranqueados com aplicação do software Bibliometrix, conforme o número de citações globais de cada um. Com os descritores "technology transfer", "anthropotechnology", "landfill biogas", "bioenergy" e "municipal solid waste" observou-se que a temática da recuperação energética a partir de resíduos e a respectiva transferência de tecnologia é atual e relevante, apresentando contínua atenção dos pesquisadores. Porém, poucas referências foram encontradas abordando o tema antropotecnologia, o qual é tratado nas entrelinhas, mas sem alusão ao termo citado, demonstrando ser uma lacuna da literatura que merece maior aprofundamento e estudos exploratórios relacionados.

De acordo com a nuvem contendo as 200 palavras mais frequentes no portfólio, apresentada na Figura 2, é possível identificar que corpo de pesquisa está de acordo com o tema proposto, destacando os termos: resíduos, tecnologia, energia, desenvolvimento e sustentável como os mais frequentes. Na sequência, destacam-se termos relacionados com os anteriores, tais como: gerenciamento, transferência (de tecnologia), combustíveis, resíduos sólidos municipais (MSW), biogás, geração, processamento, uso, produtos, biomassa, governos, barreiras, políticas, conhecimento, bioenergia, biodiesel, meio ambiente, dentre outros.

Estudos revelam tendências tais como a economia circular, visando reduzir resíduos e reintegrá-los à cadeia produtiva. Muitos países buscam alternativas aos aterros sanitários, embora estes ainda sejam comuns em nações em desenvolvimento, como o Brasil. Biocombustíveis, como o biodiesel, também ganham destaque na transição para matrizes energéticas mais sustentáveis. A Agenda 2030 impulsiona esses movimentos, promovendo o desenvolvimento sustentável global por meio da cooperação entre governos, setor privado, sociedade civil e outros atores.

O gráfico da hierarquia dos códigos, apresentado na Figura 3, mostra os principais códigos presentes no corpo de pesquisa conforme a análise qualitativa realizada com o software NVivo, dentre os quais é possível citar: tecnologia, resíduo, energia, transferência de tecnologia, gerenciamento, sustentabilidade, produção, combustíveis, desenvolvimento, biogás, políticas, barreiras, recursos, dentre outros.

No âmbito da gestão, o código gerenciamento engloba como subcategorias: sistema de gerenciamento de resíduos, estratégias de gerenciamento de resíduos, serviços de gerenciamento de resíduos sólidos, sistemas gerenciamento de resíduos sólidos municipais, gerenciamento de resíduos da agricultura, gerenciamento sustentável, dentre outras. Uma agenda de desenvolvimento urbano sustentável, especialmente em países em desenvolvimento, tem como ponto fundamental uma gestão sustentável de resíduos, o que inclui tecnologias de resíduos para energia (waste-to-energy – WtE) (TISI *et al.*, 2023). Segundo Ding *et al.* (2021), um sistema ideal deve considerar a integração entre gestão dos resíduos e tecnologias de tratamento e utilização (TTRU) de RSM, o que requer desenvolvimento tecnológico e métodos avançados.

A necessidade de ampliar o foco na gestão da matriz energética, concentrando esforços nas energias renováveis, emerge do crescente aumento da conscientização ambiental, aliado às flutuações dos combustíveis fósseis (BAKHTIAR *et al.*, 2020). Suprir a demanda energética é crucial para o desenvolvimento de qualquer país, e as fontes de energia renovável podem ser exploradas de forma estratégica. Para isso, Bakhtiar *et al.* (2020)

destacam que a difusão e a comercialização de tecnologias de energia renovável são de fundamental importância, principalmente para países em desenvolvimento.

A transição do petróleo para fontes renováveis deve ser pensada estrategicamente por todos os países, inclusive os que têm petróleo em abundância. Além das questões ambientais, é essencial considerar mudanças na indústria petrolífera causadas por políticas, tecnologia e preços globais.

No entanto, existem desafios significativos na transição para uma matriz energética mais sustentável, tais como: a dependência dos hidrocarbonetos, a falta de infraestrutura e investimentos em energia renovável e a necessidade de políticas e estratégias eficazes para promover a diversificação da matriz energética. Como benefícios de uma possível transição energética, estão a redução das emissões de carbono, a melhoria da qualidade do ar e da saúde pública, a criação de empregos e o aumento da segurança energética (MAHDAVI *et al.*, 2022).

Mahdavi *et al.* (2022) analisaram a matriz energética do Irã, dominada por hidrocarbonetos, que respondem por cerca de 97% da demanda. Apesar do potencial em fontes renováveis, sua participação ainda é baixa. Os autores destacam a bioenergia, especialmente o biogás, como alternativa promissora e menos poluente, obtido a partir de resíduos sólidos e úmidos como esgoto e lodo.

A visão do resíduo sólido como um passivo ambiental pode ser substituída enxergando-o como um recurso renovável, capaz de contribuir com a crescente demanda por energia no mundo. Nesse sentido, Ding *et al.* (2021) listam uma série de tecnologias emergentes em desenvolvimento ao redor do mundo, visando à utilização dos RSM na geração de energia (WtE) e na transformação em materiais (WtM). Dentre as tecnologias citadas pelos autores, para a geração de energia, estão: incineração, gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica, torrefação úmida, incineração hidrotérmica, liquefação termoquímica e hidrotérmica, além de gasificação termoquímica e hidrotérmica, para transformar RSM em calor, eletricidade, gás de síntese, biogás, biocombustível líquido, bio-óleo bruto, combustível sólido, dentre outras. Como tecnologias de WtM são citadas: biochar, nanofibras de celulose, hydrochar, pyrochar, aerogel, alcatrão e nanolâmina de carbono (DING *et al.*, 2021).

Kumar *et al.* (2019) destacam as células de combustível microbianas (MFCs) como tecnologia promissora para enfrentar a crise energética e a poluição. Elas convertem materiais biodegradáveis em compostos simples e geram bioeletricidade, podendo produzir biohidrogênio a partir de resíduos urbanos e efluentes. Estudos indicam seu potencial para energia sustentável e aplicações de baixa potência, como biossensores e monitoramento ambiental (KUMAR *et al.*, 2019).

Tisi *et al.* (2023) apontam que países como o Brasil enfrentam dificuldades na gestão sustentável de resíduos, com uso ainda comum de lixões e aterros inadequados. A recuperação energética é limitada, tornando urgente a conversão desses locais em aterros sanitários adequados. Com isso, subprodutos como o biogás podem ganhar espaço. Atualmente, menos de 5% dos resíduos municipais são reciclados ou compostados no Brasil, enquanto 95% vão para aterros ou lixões (TISI *et al.*, 2023). Jalalipour *et al.* (2021) analisaram os desafios da gestão de resíduos sólidos no Irã e propuseram soluções sustentáveis. Destacam a responsabilidade estendida ao produtor como ferramenta econômica e apontam a participação dos stakeholders e parcerias público-privadas como essenciais para uma gestão mais sustentável e ambientalmente adequada.

A gestão de resíduos sólidos urbanos geralmente é de responsabilidade das municipalidades, demandando das esferas governamentais ações para potencializar a eficiência do sistema e garantir a melhor solução para a disposição final dos resíduos sólidos, em compatibilidade com os requisitos de proteção ambiental. Ding *et al.* (2021)

analisam a gestão de RSM na China, destacando a importância da atuação governamental na regulamentação da coleta e classificação dos resíduos, bem como no equilíbrio entre urbanização e fluxo de resíduos. Alertam ainda para o risco de a valorização energética comprometer a reciclagem. Essas questões também se aplicam ao Brasil, onde a gestão dos resíduos municipais é responsabilidade das prefeituras.

Segundo Tisi *et al.* (2023), a gestão de resíduos sólidos e as políticas energéticas refletem as condições socioeconômicas, políticas e tecnológicas de cada país. Enquanto países desenvolvidos aplicam princípios da economia circular para reduzir, tratar e transformar resíduos, países em desenvolvimento, como o Brasil, enfrentam atrasos tecnológicos e falhas nas políticas públicas. Para mudar esse cenário, destaca-se a atuação da ABREN WtERT Brasil (Waste-to Energy Research and Technology Council), criada em 2019, que propõe uma gestão integrada e sustentável dos resíduos, unindo sustentabilidade e economia circular para reduzir o descarte em aterros e promover a recuperação de energia e materiais (TISI *et al.*, 2023).

A Economia Circular aborda o problema dos resíduos desde a origem, essencial para repensar práticas e planejar o futuro. O gás gerado em aterros sanitários pode ser capturado e utilizado para gerar energia, transformando metano em recurso útil. Segundo Tisi *et al.* (2023), a Economia Circular prioriza a redução, seguida por reutilização e reciclagem, incluindo compostagem para fertilizantes. Depois, destaca-se a recuperação energética eficiente, o que reduz o volume de resíduos em aterros, evita emissões e lixiviados, e prolonga a vida útil dos aterros.

A economia circular (CE) é uma alternativa sustentável ao sistema econômico linear, ganhando espaço em debates acadêmicos e profissionais e exigindo a colaboração de múltiplos stakeholders. Embora já influencie políticas no Hemisfério Norte, enfrenta desafios na América Latina (SALAS *et al.*, 2021). A integração da CE com o aproveitamento de gás e gestão de aterros envolve inovações tecnológicas, como captura avançada de gases e reciclagem eficiente, promovendo sistemas mais sustentáveis, onde resíduos viram recursos, ajudando na transição para uma economia circular e reduzindo impactos ambientais.

No âmbito da economia circular, antes do descarte do resíduo gerado, o mesmo deve ser submetido a um tratamento adequado para recuperação de material ou energia (TISI *et al.*, 2023). No entanto, esses processos requerem tecnologia e infraestrutura adequada. Ding *et al.* (2021) apontam que o desenvolvimento das tecnologias atuais, como os aterros sanitários e incineração, será uma tendência no tratamento de resíduos na China nos próximos anos.

Aterros sanitários enfrentam rejeição das comunidades próximas devido a emissões tóxico-odorantes, riscos de contaminação do solo e água, desvalorização imobiliária e propagação de vetores de doenças. Cada método de tratamento e disposição de resíduos tem prós e contras que devem ser avaliados pelo poder público junto às comunidades locais.

Andretti *et al.* (2021) avaliaram a viabilidade da incineração de resíduos sólidos urbanos com recuperação energética no Brasil, segundo a Portaria nº 557 do Ministério das Cidades. Identificaram diversos desafios, como localização da planta, oposição local ("Not in My Backyard" - NIMBY), conflito percebido entre reciclagem e incineração, altos custos iniciais, risco de tecnologias obsoletas, falta de mão de obra qualificada, variações sazonais de resíduos, volatilidade dos preços de energia, exigências legais e escolha do modelo de negócio.

O efeito NIMBY reflete a resistência das comunidades a projetos considerados indesejáveis, motivada por preocupações legítimas como segurança, poluição e desvalorização imobiliária, mas também por resistência geral a mudanças. A aceitação da

comunidade é essencial para o sucesso desses projetos, que podem ter maior aprovação se incorporarem preceitos antropotecnológicos, valorizando o comportamento humano e prevenindo conflitos durante a implementação das tecnologias.

Corsi *et al.* (2021b) exploraram em seu estudo as barreiras e oportunidades presentes no processo de transferência de tecnologia orientada para o desenvolvimento sustentável. Entre as principais barreiras citadas pelos autores estão a falta de recursos financeiros ou subsídios para obter ou implementar determinada tecnologia. As oportunidades destacadas por Corsi *et al.* (2021b) envolvem o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, políticas e regulamentações que favorecem a adoção e difusão de tecnologias limpas, capacitação, promoção de recursos financeiros, colaboração e parcerias, investimento estrangeiro direto (IED) e transferência de know-how.

Salas *et al.* (2021) apontam que a implementação da economia circular em países em desenvolvimento enfrenta barreiras políticas, institucionais, sociais, corrupção e dependência de recursos naturais, destacando o papel das universidades na superação desses desafios por meio de conhecimento, capital humano e inovação. Corsi *et al.* (2021b) identificam a falta de recursos financeiros como principal barreira na transferência de tecnologias sustentáveis, enquanto destacam oportunidades em políticas favoráveis, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, capacitação, parcerias e investimento estrangeiro. Ding *et al.* (2021) ressaltam desafios técnicos na conversão eficiente de resíduos sólidos urbanos (RSM) em energia, devido à alta umidade, e sugerem a transferência de tecnologias, como a desidratação de Berlim e a incineração eficiente do Japão, para melhorar a performance na China.

Bakhtiar *et al.* (2020) identificaram que o principal desafio para a comercialização de tecnologias de energia de biomassa no Irã e em países em desenvolvimento é o investimento, especialmente a dependência de recursos públicos. Também destacaram a importância da infraestrutura tecnológica e da aceitação social, cultural e comportamental para o sucesso dessas tecnologias, reforçando a relevância dos aspectos antropotecnológicos. Budiman (2021) analisou a disseminação de biodigestores na Indonésia, apontando barreiras como programas fragmentados, falta de coordenação governamental, treinamento inadequado e ausência de monitoramento. Além disso, o baixo uso do biogás para cozinhar revela a necessidade de capacitação e engajamento comunitário, essenciais para superar obstáculos e garantir o sucesso dos projetos energéticos.

Embora o termo "antropotecnologia" ainda seja pouco explorado na literatura, Ding *et al.* (2021) destacam a importância de análises operacionais e comportamentais na gestão de resíduos sólidos urbanos (RSM), além dos aspectos tecnológicos. Complementando, Corsi *et al.* (2021c) propõem um modelo de transferência de tecnologia focado no desenvolvimento sustentável, com etapas de planejar, capacitar, implementar e avaliar, que ajuda a superar barreiras e apoiar o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). No Brasil, um desafio crucial nas políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação é fomentar o empreendedorismo tecnológico (BEZERRA BORGES *et al.*, 2021), aspecto fundamental para o avanço dessas abordagens.

Há uma dificuldade clara em transformar tecnologias validadas em laboratórios acadêmicos em produções em larga escala, sendo fundamental estreitar a conexão entre universidades e indústrias para avançar nas energias renováveis. Borge e Bröring (2020) destacam que a transferência de tecnologia, especialmente da academia para a indústria, é crucial para a comercialização de inovações emergentes que surgem da interdisciplinaridade. Fertahi *et al.* (2023) apontam que, apesar de processos validados para bioenergia e biofertilizantes na África, a aplicação em larga escala depende de maior envolvimento governamental e controle legislativo. Banka e Parikh (2019) ressaltam a importância de políticas para

promover biocombustíveis na Índia, evidenciando a necessidade de incentivos e práticas de antropotecnologia para viabilizar a operação comercial dessas tecnologias.

Cada setor possui características próprias que influenciam suas estratégias de inovação, exigindo a identificação de sinergias internas e externas para maximizar o impacto social, conforme pontuam Bezerra Borges et al. (2021). Borge e Bröring (2020) também apontam os desafios da transferência tecnológica em áreas emergentes como a bioeconomia, devido a diferentes visões e motivações entre cientistas e empresas. Corsi et al. (2021b) reforçam que para a transferência tecnológica promover o desenvolvimento sustentável, seus objetivos devem estar alinhados às metas sustentáveis.

Além da simples aquisição de tecnologia, Thomas (1999) enfatiza a importância de obter o know-how para dominar, adaptar e aprimorar as tecnologias conforme as condições locais, garantindo mudanças efetivas e duradouras.

O portfólio de pesquisa mostra uma clara interseção entre recuperação energética de resíduos sólidos e transferência de tecnologia, ambas com forte componente social que deve ser abordado segundo os preceitos da antropotecnologia. A efetividade da transferência depende da adaptação da tecnologia às condições sociais, demográficas, geográficas, industriais e culturais do receptor, considerando seu contexto para promover inserções adequadas.

A antropotecnologia, definida por Corsi et al. (2021a), é o processo que facilita o desenvolvimento tecnológico adaptado às populações receptoras, gerando benefícios sociais. Ela ajuda a antecipar e tratar barreiras humanas e dificuldades de adaptação, aumentando a eficácia da transferência tecnológica, especialmente em temas com impacto ambiental e social, como aterros sanitários e recuperação energética.

Embora pouco explorada na literatura, a antropotecnologia oferece ferramentas essenciais para potencializar a transferência tecnológica em sustentabilidade. Assim, um diagnóstico antropotecnológico deveria ser requisito básico antes de iniciar processos de transferência tecnológica voltados ao desenvolvimento sustentável.

## **5. Considerações finais**

A escassez de combustíveis fósseis e o aumento das emissões de gases de efeito estufa destacam a urgência de fontes de energia sustentáveis (BAKHTIAR et al., 2020). A Economia Circular deve guiar a gestão de resíduos e a matriz energética no Brasil. Enquanto desafios estruturais persistem, a recuperação do biogás de aterros é uma alternativa viável, aproveitando a infraestrutura existente.

Superar barreiras tecnológicas requer transferência de tecnologia eficiente, que também enfrente obstáculos socioculturais e políticos. A abordagem antropotecnológica, que valoriza o fator humano e o contexto local, é essencial. Capacitar os envolvidos garante resultados duradouros, reconhecendo diferenças entre os ambientes de origem e recepção da tecnologia.

A aceitação das comunidades locais é vital para o sucesso ambiental, reforçando o papel da antropotecnologia na eficácia da transferência tecnológica. Assim, essa integração promove soluções sustentáveis que atendem às necessidades atuais e preservam aspectos culturais e ambientais a longo prazo.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro concedido em forma de bolsa de doutorado, recebida pela primeira autora.

## Referências

- ANDRETTI, F. V.; FERREIRA, J. A.; MANNARINO, C. F. Análise da aplicabilidade da Portaria 557 do Ministério das Cidades em estudos de viabilidade técnico-econômica para incineração com recuperação energética de resíduo sólido urbano no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 6, p. 1181–1190, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200402>.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- BAKHTIAR, A.; ASLANI, A.; HOSSEINI, S. M. Challenges of diffusion and commercialization of bioenergy in developing countries. *Renewable Energy*, v. 145, p. 1780–1798, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.126>.
- BANKA, S.; PARIKH, S. P. Nonedible oil biodiesels: The cutting-edge future of renewable energy in India. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, v. 14, n. 2, p. 2310, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/apj.2310>.
- BEZERRA BORGES, D.; MEYER SOARES, P.; SANTANA SILVA, M. Programs and instruments for promoting innovation with technology-based companies in Brazil. *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 16, n. 2, p. 28–40, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242021000200028>.
- BORGE, L.; BRÖRING, S. What affects technology transfer in emerging knowledge areas? A multi stakeholder concept mapping study in the bioeconomy. *The Journal of Technology Transfer*, v. 45, p. 430–460, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9702-4>.
- BUDIMAN, I. The complexity of barriers to biogas digester dissemination in Indonesia: challenges for agriculture waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, v. 23, p. 1918–1929, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01263-y>.
- CORSI, A.; KOVALESKI, J. L.; NEGRI PAGANI, R. Technology Transfer, Anthropotechnology and Sustainable Development: How Do the Themes Relate? *Journal of Technology Management & Innovation*, v. 16, n. 4, p. 96–108, 2021a. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242021000400096>.
- CORSI, A.; BARBOZA, B. M. L.; PAGANI, R. N.; CHIROLI, D. M. G.; KOVALESKI, J. L. Technology Transfer Oriented to Sustainable Development: Barriers and Opportunities. *Journal of Information & Knowledge Management*, v. 20, n. 2, p. 2150015, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219649221500155>.
- CORSI, A.; DE SOUZA, F. F.; PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L. Technology transfer oriented to sustainable development: proposal of a theoretical model based on barriers and opportunities. *Scientometrics*, v. 126, p. 5081–5112, 2021c. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03969-0>.

DING, Y.; ZHAO, J.; LIU, J.-W.; ZHOU, J.; CHENG, L.; ZHAO, J.; SHAO, Z.; IRIS, Ç.; PAN, B.; LI, X.; HU, Z.-T. A review of China's municipal solid waste (MSW) and comparison with international regions: Management and technologies in treatment and resource utilization. *Journal of Cleaner Production*, v. 293, art. 126144, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126144>.

FERTAH, S.; ELALAMI, D.; TAYIBI, S.; TAARJI, N.; LYAMLOULI, K.; BARGAZ, A.; OUKARROUM, A.; ZEROUAL, Y.; EL BOUHSSINI, M.; BARAKAT, A. The current status and challenges of biomass biorefineries in Africa: A critical review and future perspectives for bioeconomy development. *Science of The Total Environment*, v. 870, art. 162001, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162001>.

JALALIPOUR, H.; JAAFARZADEH, N.; MORSCHECK, G.; NARRA, S.; NELLES, M. Adoption of sustainable solid waste management and treatment approaches: A case study of Iran. *Waste Management & Research*, v. 39, n. 7, p. 975–984, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X20978>.

KUMAR, S. S.; KUMAR, V.; KUMAR, R.; MALYAN, S. K.; PUGAZHENDHI, A. Microbial fuel cells as a sustainable platform technology for bioenergy, biosensing, environmental monitoring, and other low power device applications. *Fuel*, v. 255, art. 115682, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115682>.

MAHDAVI, M.; SCHMITT, K.; RAMOS, R. A. V.; ALHELOU, H. H. Role of hydrocarbons and renewable energies in Iran's energy matrix focusing on bioenergy: review. *IET Renewable Power Generation*, v. 16, n. 15, p. 3384–3405, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1049/rpg2.12540>.

SALAS, D. A.; CRIOLLO, P.; RAMIREZ, A. D. The Role of Higher Education Institutions in the Implementation of Circular Economy in Latin America. *Sustainability*, v. 13, n. 17, art. 9805, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13179805>.

THOMAS, C. Waste management and recycling in Romania: a case study of technology transfer in an economy in transition. *Technovation*, v. 19, n. 6–7, p. 365–371, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(99\)00028-0](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(99)00028-0).

TISI, Y. S. A. B.; MATOS, F. A.; CARNEIRO, M. L. N. M. Development of waste-to-energy through integrated sustainable waste management: the case of ABREN WtERT Brazil towards changing status quo in Brazil. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, v. 5, p. 295–308, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42768-022-00127-x>.