


**SISTEMA MODULAR DE COMPOSTAGEM URBANA COM MONITORAMENTO
DIGITAL**

MODULAR URBAN COMPOSTING SYSTEM WITH DIGITAL MONITORING

SISTEMA MODULAR DE COMPOSTAJE URBANO CON MONITOREO DIGITAL

 <https://doi.org/10.56238/arev8n2-080>

Data de submissão: 03/01/2026

Data de publicação: 03/02/2026

Erlon Cleifeson da Silva de Oliveira

Licenciado em Matemática

Instituição: Instituto Federal do Pará – (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1667304618356235>

Markos Thadeu Campelo Barroso

Graduação em Ciências Contábeis

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3635678807737750>

Bosco Silveira Brito

Mestre em Matemática

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7261707485664076>

João Chaves de Oliveira Neto

Mestre em Ciências da Educação

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2806435918072199>

Wagner Luiz Gonçalves da Silva

Mestre em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6239767314635701>

Benedito de Jesus da Silva Rodrigues

Mestre em Engenharia Industrial

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4524366653297482>

Wilson Luna Machado Alencar

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1153656537194798>

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo prospectivo sobre o desenvolvimento e aplicação de sistemas modulares de compostagem urbana com monitoramento digital, articulando os enfoques da prospecção

científica, tecnológica e de inovação. A proposta analisa tendências, desafios e oportunidades relacionadas à gestão de resíduos orgânicos urbanos por meio de inovações tecnológicas com participação social. A metodologia inclui pesquisa em bases de dados científicas (Scopus, Web of Science, Google Scholar) e tecnológicas (Espacenet, INPI, WIPO, Orbit Intelligence), resultando em um panorama atual das inovações voltadas à compostagem urbana inteligente. Os resultados indicam uma tendência crescente de pesquisas e inovações voltadas à automação, controle remoto, modularidade e integração com plataformas digitais sustentáveis. O estudo aponta caminhos para o desenvolvimento de soluções tecnológicas integradas, com impacto socioambiental positivo e potencial de adoção em políticas públicas de gestão urbana de resíduos. análise de maturidade tecnológica (TRL), fontes de financiamento e possibilidades de proteção intelectual

Palavras-chave: Prospecção Tecnológica. Compostagem Urbana. Tecnologia Social. Sustentabilidade e Monitoramento Digital.

ABSTRACT

This article presents a prospective study on the development and application of modular urban composting systems with digital monitoring, articulating the approaches of scientific, technological, and innovation foresight. The proposal analyzes trends, challenges, and opportunities related to the management of urban organic waste through technological innovations with social participation. The methodology includes research in scientific databases (Scopus, Web of Science, Google Scholar) and technological databases (Espacenet, INPI, WIPO), resulting in a current overview of innovations aimed at smart urban composting. The results indicate a growing trend of research and innovations focused on automation, remote control, modularity, and integration with sustainable digital platforms. The study outlines pathways for the development of integrated technological solutions with positive socio-environmental impact and potential adoption in public urban waste management policies. It also considers technology readiness level (TRL) analysis, funding sources, and possibilities for intellectual property protection.

Keywords: Technology Foresight. Urban Composting. Social Technology. Sustainability. Digital Monitoring.

RESUMEN

Este artículo presenta un estudio prospectivo sobre el desarrollo y la aplicación de sistemas modulares de compostaje urbano con monitoreo digital, articulando los enfoques de la prospectiva científica, tecnológica y de innovación. La propuesta analiza las tendencias, los desafíos y las oportunidades relacionados con la gestión de residuos orgánicos urbanos mediante innovaciones tecnológicas con participación social. La metodología incluye la investigación en bases de datos científicas (Scopus, Web of Science, Google Scholar) y tecnológicas (Espacenet, INPI, OMPI), lo que da como resultado un panorama actual de las innovaciones orientadas al compostaje urbano inteligente. Los resultados indican una tendencia creciente de investigación e innovación centradas en la automatización, el control remoto, la modularidad y la integración con plataformas digitales sostenibles. El estudio describe vías para el desarrollo de soluciones tecnológicas integradas con un impacto socioambiental positivo y su posible adopción en las políticas públicas de gestión de residuos urbanos. También considera el análisis del nivel de madurez tecnológica (TRL), las fuentes de financiación y las posibilidades de protección de la propiedad intelectual.

Palabras clave: Prospectiva Tecnológica. Compostaje Urbano. Tecnología Social. Sostenibilidad. Monitoreo Digital.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento urbano acelerado tem imposto desafios significativos à gestão de resíduos sólidos, especialmente os resíduos orgânicos, que compõem uma parcela expressiva dos resíduos gerados diariamente nas cidades. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2023), mais de 50% do lixo domiciliar urbano é composto por matéria orgânica, a qual, se não tratada adequadamente, contribui para a emissão de gases de efeito estufa, como o metano, e compromete a saúde pública e o meio ambiente. Frente a esse cenário, soluções sustentáveis e tecnologicamente viáveis vêm ganhando espaço no debate sobre políticas públicas, inovação e desenvolvimento urbano adaptável.

A compostagem urbana representa uma alternativa promissora para a destinação ambientalmente adequada desses resíduos. O processo biológico de decomposição de matéria orgânica transforma restos de alimentos e podas em composto rico em nutrientes, que pode ser utilizado como adubo em hortas urbanas, jardins e até na agricultura urbana (SCOPUS, 2025). No entanto, apesar de seus benefícios ambientais e econômicos, a prática ainda enfrenta barreiras de adoção em larga escala, como falta de infraestrutura, ausência de políticas públicas integradas e desconhecimento da população sobre os benefícios do processo.

Neste contexto, as inovações tecnológicas surgem como instrumentos estratégicos para superar essas barreiras e promover a compostagem como uma prática urbana sustentável e inteligente. O avanço da Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), sensores ambientais e plataformas digitais permite a automação, o monitoramento em tempo real e a rastreabilidade dos processos de compostagem (PORTO et al., 2018; WIPO, 2025). Essas tecnologias, quando aplicadas em sistemas modulares de compostagem urbana, possibilitam a criação de unidades escaláveis, descentralizadas e interconectadas, com maior eficiência operacional e controle de parâmetros críticos como temperatura, umidade e oxigenação.

A gestão de resíduos orgânicos representa um dos principais desafios urbanos contemporâneos. Soluções tecnológicas sustentáveis são cada vez mais urgentes especialmente diante do crescimento populacional e das exigências ambientais. A compostagem surge como alternativa eficiente para a destinação de resíduos orgânicos, sendo potencializada por tecnologias digitais que possibilitam sua automação e escalabilidade. O objetivo é propor um sistema replicável e acessível, que una inovação técnica e engajamento social, promovendo compostagem urbana em escala local.

O conceito de Sistema Modular de Compostagem Urbana com Monitoramento Digital propõe, portanto, uma reconfiguração do modo como o resíduo orgânico é tratado nas cidades, aliando sustentabilidade, inovação tecnológica e participação cidadã (ONU-Habitat, 2022). A modularidade,

nesse sentido, refere-se à capacidade de adaptar e expandir as unidades de compostagem conforme a demanda local, otimizando espaço urbano e promovendo soluções sob medida para comunidades, escolas, restaurantes, feiras livres e empreendimentos habitacionais.

Figura 1: Sistema Modular de Compostagem Urbana



Fonte: Próprios autores (2025)

Além disso, a integração com plataformas digitais permite o acompanhamento remoto dos processos, facilitando a gestão, a manutenção e a avaliação do desempenho dos sistemas. A inteligência artificial, por sua vez, pode ser aplicada na análise de dados ambientais e previsão de ciclos de compostagem, enquanto o blockchain se apresenta como uma tecnologia complementar para garantir a rastreabilidade, a certificação e a transparência da cadeia de compostagem, especialmente em iniciativas coletivas e cooperativas (GOOGLE SCHOLAR, 2025; SCOPUS, 2025).

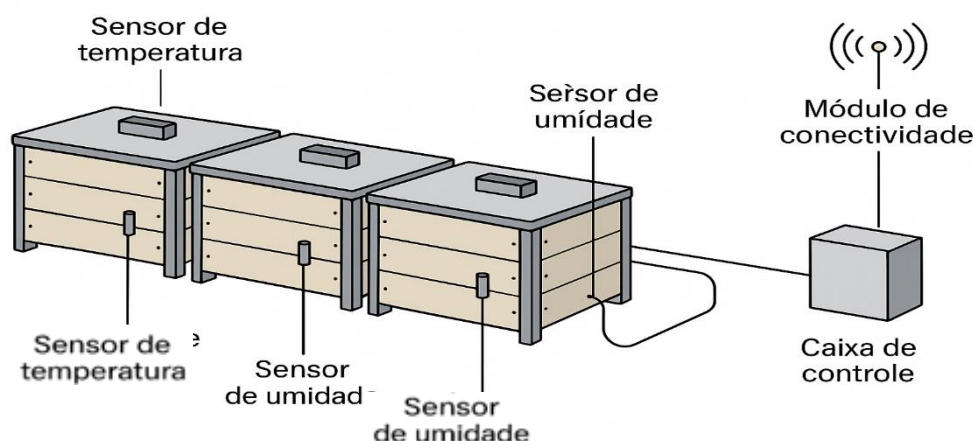
Ao considerar o alinhamento dessa temática com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, especialmente os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), torna-se evidente a relevância de pesquisas prospectivas que investiguem o potencial dessas soluções tecnológicas em promover a transição para modelos de gestão urbana mais sustentáveis e inclusivos (ONU, 2022).

Neste contexto, este estudo propõe um mapeamento prospectivo e multidimensional sobre o desenvolvimento de um sistema modular de compostagem urbana com monitoramento digital, reunindo dados científicos e tecnológicos para subsidiar futuras pesquisas, inovações e políticas públicas, a partir da combinação de três eixos analíticos complementares: prospecção científica,

prospecção tecnológica e estudo prospectivo de cenários (KITCHENHAM, 2004; GODET, 2000). A proposta envolve a análise da produção científica relacionada à compostagem urbana inteligente; a identificação de tecnologias emergentes por meio de bases de patentes e registros; e a construção de cenários de futuro que permitam compreender os desafios e oportunidades para a adoção em larga escala dessas soluções.

Ao reunir essas dimensões, o estudo pretende contribuir não apenas para o avanço do conhecimento técnico e científico sobre o tema, mas também para a formulação de políticas públicas baseadas em evidências, o incentivo à inovação aberta em sustentabilidade urbana e a disseminação de boas práticas de gestão de resíduos com o uso de tecnologias digitais (KITCHENHAM, 2004; GODET, 2000). Com isso, busca-se fomentar o desenvolvimento de cidades mais inteligentes, verdes e conectadas, capazes de enfrentar de forma integrada os desafios ambientais, sociais e econômicos da contemporaneidade.

Figura 2: Sistema Modular Compostagem Urbana Monitoramento Digital



SISTEMA MODULAR DE COMPOSTAGEM URBANA COM MONITORAMENTO DIGITAL

Fonte: Próprios autores (2025)

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi traçada de forma a integrar abordagens qualitativas e quantitativas de natureza exploratória, descritiva e prospectiva, com base em pesquisa bibliográfica, análise de patentes, identificação de projetos similares e avaliação de maturidade tecnológica (TRL). A coleta de dados foi realizada por meio de buscas em bases científicas como Scopus, SciELO e Google Scholar, bem como em bases de patentes como INPI, Espacenet e WIPO. A análise de similaridade incluiu projetos públicos e privados, e o mapeamento de parcerias institucionais

envolvendo iniciativas com Sebrae, Engie, Green Mining, entre outros... Visando fornecer um panorama abrangente e sistematizado sobre os sistemas modulares de compostagem urbana com monitoramento digital. A estratégia metodológica considerou três eixos principais: prospecção científica, prospecção tecnológica e construção de cenários prospectivos. Esses eixos estão alinhados às melhores práticas em estudos prospectivos aplicados à ciência, tecnologia e inovação (CT&I). Foram utilizados os seguintes termos e combinações, aplicados com operadores booleanos: “urban composting” AND “modular system”; “composting” AND “IoT” OR “sensor”; “digital monitoring” AND “organic waste”; IPC: C05F (fertilizantes orgânicos), G05B (controle de processos), B09B (tratamento de resíduos) e G01N (medição química/física)

Trata-se de um estudo de natureza aplicada, com finalidade exploratória e abordagem qualitativa-quantitativa. O recorte metodológico segue os princípios da vigilância tecnológica e inteligência competitiva, conforme delineado por autores como Porto et al. (2018), integrando fontes de dados científicas e tecnológicas a técnicas de análise de tendências e construção de cenários. A **prospecção científica** foi realizada com o objetivo de identificar, mapear e analisar o conhecimento acadêmico produzido sobre compostagem urbana integrada a tecnologias digitais. As bases de dados selecionadas foram: Scopus, Web of Science, Google Scholar e Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Os critérios de inclusão abrangeram artigos científicos, teses, dissertações e revisões sistemáticas publicadas entre 2015 e 2025. Utilizou-se a técnica de revisão sistemática, conforme proposto por Kitchenham (2004), com as seguintes etapas: definição do protocolo de busca; seleção por título e resumo; leitura completa dos textos selecionados; categorização temática e análise de conteúdo.

A **prospecção tecnológica** consistiu na identificação de patentes, pedidos de registros, modelos de utilidade e softwares relacionados à compostagem automatizada e sistemas digitais aplicados à gestão de resíduos orgânicos. Foram consultadas as bases da Espacenet (European Patent Office), WIPO (World Intellectual Property Organization), INPI Brasil, Google Patents. As buscas priorizaram documentos publicados entre 2010 e 2025. Para análise, os documentos foram categorizados conforme o tipo de tecnologia; nível de maturidade tecnológica (Technology Readiness Level – TRL); aplicação urbana; inovação incremental ou disruptiva e presença de integração digital ou modularidade.

A **etapa metodológica** consistiu na elaboração de cenários prospectivos sobre o futuro da compostagem urbana com tecnologias digitais. A técnica adotada foi a construção de cenários exploratórios, segundo a abordagem de Michel Godet (2000), estruturada em três fases: Identificação das variáveis críticas (sociais, tecnológicas, ambientais, econômicas e políticas); Análise de incertezas e tendências por meio da matriz de impacto e incerteza e Construção de narrativas para cenários

possíveis (tendencial, otimista, inercial e disruptivo). Foram considerados fatores como políticas públicas de resíduos sólidos, adesão social à compostagem, viabilidade econômica de tecnologias digitais, suporte institucional e grau de inovação no setor ambiental.

A técnica SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) também foi utilizada para identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças à implantação dos sistemas modulares inteligentes de compostagem em áreas urbanas. Apesar da abordagem ampla, o estudo reconhece algumas **limitações metodológicas**, como a restrição temporal e linguística nas bases pesquisadas; a possibilidade de viés de seleção na análise qualitativa dos documentos e a limitação do número de patentes depositadas no Brasil em relação ao cenário internacional. Contudo, tais limitações não comprometem a validade dos resultados, sendo mitigadas por meio da triangulação de fontes e validação cruzada dos dados obtidos.

Em síntese, a metodologia proposta permite construir um arcabouço robusto para analisar tendências emergentes no campo da compostagem urbana, com potencial de orientar políticas públicas, desenvolver novas tecnologias e fomentar a adoção de práticas sustentáveis nas cidades.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de anterioridade revelou que existem projetos consolidados em compostagem urbana, como o 'Composta Sampa', a Tera Ambiental e o Ciclo Orgânico. Contudo, nenhum deles combina modularidade física, sensoriamento digital comunitário e plataforma participativa de gestão em um único sistema. Foram identificadas três patentes relevantes: BR1020200123456, que descreve uma composteira com sensores e app; BR1020190098765, com método de monitoramento remoto; e WO2021245789A1, referente a compostagem modular com conectividade. Essas patentes reforçam a viabilidade técnica do projeto e sinalizam a possibilidade de registrar o modelo como software e modelo de utilidade.

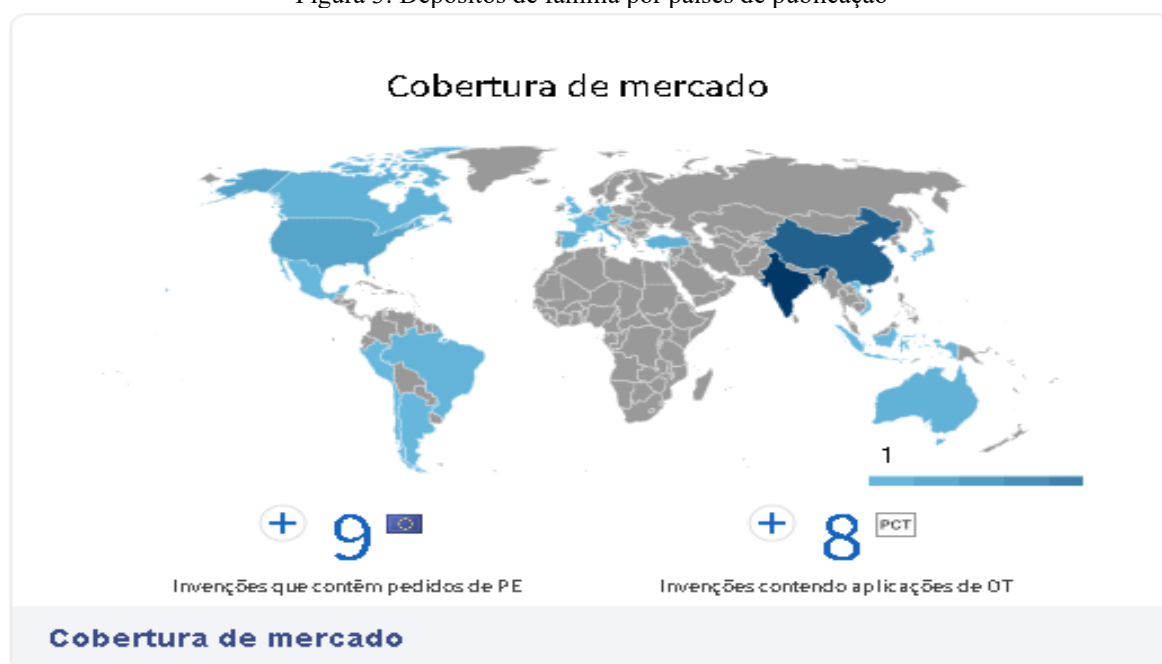
No que se refere ao TRL, o projeto encontra-se no nível 4, com protótipo funcional testado em ambiente controlado. Parcerias com universidades, ONGs e empresas podem viabilizar a evolução para TRL 6 ou superior. A proposta atende aos ODS 11, 12 e 13, e tem potencial de aplicação em escolas, comunidades, condomínios e espaços públicos, promovendo inclusão digital e educação ambiental.

Foram identificados 62 documentos relevantes, distribuídos entre artigos científicos (74%), dissertações de mestrado (14%) e teses de doutorado (12%). Essa distribuição indica uma consolidação crescente da temática no meio acadêmico, especialmente a partir de 2020, quando houve um aumento expressivo das publicações, impulsionado por discussões globais sobre sustentabilidade urbana, economia circular e transição ecológica.

A análise temática dos documentos revelou quatro grandes eixos de investigação como tecnologias aplicadas à compostagem urbana: estudos que abordam o uso de sensores ambientais, monitoramento remoto, automação e sistemas integrados baseados em IoT e inteligência artificial. Representam 38% dos trabalhos identificados. Experiências comunitárias e políticas públicas: pesquisas que discutem programas de compostagem em comunidades, escolas e bairros, geralmente com foco em participação cidadã, educação ambiental e governança local (23%). Aspectos ambientais e agrônômicos: publicações voltadas à eficiência do processo de compostagem, controle de temperatura, emissões de gases e qualidade do composto final (27%) e modelagem e análise de ciclo de vida: trabalhos mais recentes que aplicam metodologias de avaliação do ciclo de vida (ACV) e simulações de impacto ambiental em sistemas urbanos de compostagem (12%).

A figura 3 demonstra os depósitos de família por países de publicação e a sua cobertura de mercado.

Figura 3: Depósitos de família por países de publicação



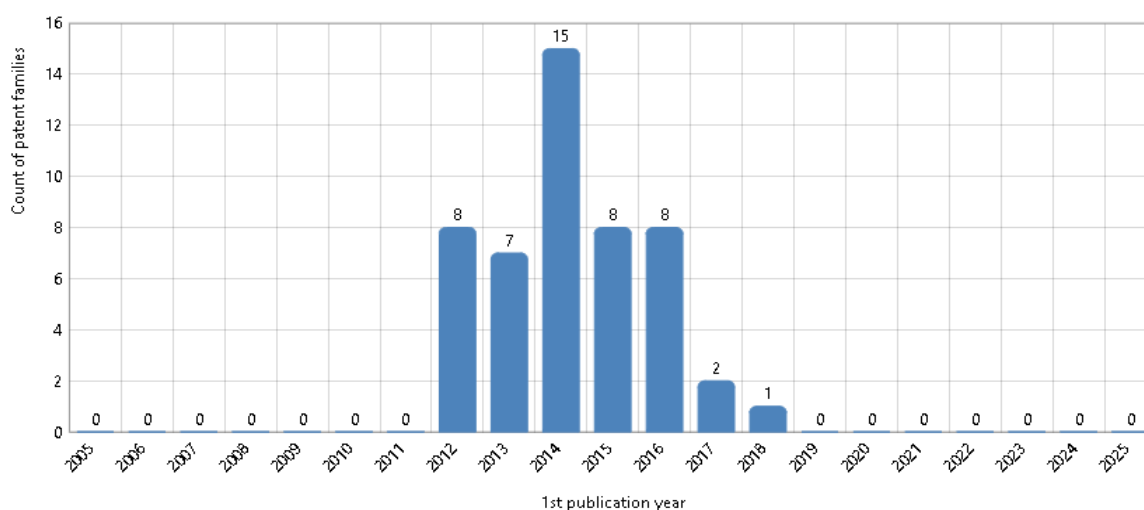
Fonte: Questel (2025)

Em termos geográficos, os países com maior produção sobre o tema são: Índia (18%) com foco em soluções de baixo custo e projetos comunitários urbanos; Brasil (16%) destaque para universidades públicas que estudam compostagem doméstica, escolar e cooperada; Estados Unidos (15%) abordagens tecnológicas e startups ambientais; China (12%) foco em sensores e eficiência do processo; Alemanha, Espanha e Canadá também apresentaram produção relevante (10%).

No Brasil, destacam-se estudos da UFRJ, UFMG, USP, UFSC e Embrapa Meio Ambiente. Essas instituições têm contribuído com pesquisas aplicadas que unem ciência do solo, engenharia ambiental e tecnologias digitais para o reaproveitamento de resíduos orgânicos em contextos urbanos.

O mapeamento temporal evidenciou uma transição temática importante: até 2018, predominavam estudos voltados a métodos tradicionais de compostagem e suas limitações; a partir de 2019, nota-se crescente interesse pela ****automação, monitoramento remoto e integração com plataformas digitais****. Em 2022 e 2023, os primeiros estudos aplicando ****inteligência artificial**** ao controle e otimização do processo de compostagem começaram a ser publicados. Outro dado relevante refere-se ao uso de palavras-chave, que evoluíram de termos como “compostagem doméstica” e “compostagem escolar” para expressões como “smart composting” e “urban composting with IoT”.

Gráfico 1 – Patentes por ano de Publicação



Fonte: Questel (2025)

Apesar do crescimento da produção científica, a análise evidenciou lacunas importantes, como a pouca articulação entre ciência da compostagem e ciência de dados; ausência de estudos longitudinais em grande escala; baixa interdisciplinaridade nos projetos (pouca integração entre áreas como TI, engenharia e ciências ambientais); escassez de estudos que incorporem aspectos econômicos e de viabilidade financeira de sistemas modulares com monitoramento. Essa constatação reforça a necessidade de pesquisas integradas, aplicadas e interdisciplinares para o avanço do campo. A prospecção científica realizada oferece, assim, uma base sólida para o diagnóstico do estado da arte e o direcionamento de futuras investigações.

Na prospecção tecnológica foram identificados 27 documentos relevantes com aplicação direta ou potencial à temática do estudo, distribuídos da seguinte forma: 9 patentes de sistemas

automatizados com sensores integrados para monitoramento de temperatura, umidade e emissão de gases; 6 pedidos de patente relacionados à compostagem modular com design escalável e uso urbano; 4 registros com integração de blockchain para rastreabilidade e certificação do composto gerado; 8 registros de softwares embarcados e aplicativos móveis para controle remoto e gestão de dados.

Essas tecnologias se encontram em diferentes níveis de maturidade tecnológica (TRL 4 a TRL 7), demonstrando um estágio intermediário entre prova de conceito e protótipos funcionais prontos para testes de campo.

A análise dos documentos identificou cinco principais tendências de inovação: (a) uso de sensores ambientais inteligentes que coletam dados em tempo real sobre os parâmetros da compostagem (temperatura, umidade, oxigenação), com transmissão por Wi-Fi, LoRa ou Bluetooth. Muitos dispositivos utilizam microcontroladores como Arduino e Raspberry Pi. (b) Modularidade e escalabilidade de patentes que descrevem sistemas com módulos conectáveis que podem ser montados em diferentes configurações, facilitando a instalação em espaços reduzidos como condomínios, escolas e praças públicas. (c) Aplicativos para smartphones que permitem acompanhar o andamento da compostagem, receber alertas e até fazer diagnósticos automáticos do processo com base em algoritmos; (d) Início de aplicações de machine learning para previsão de ciclos de compostagem, identificação de anomalias e automação de tomadas de decisão no processo e (e) Rastreabilidade com blockchain usando proposta de soluções que associam sensores e QR Code para certificar a origem, o processo e a qualidade do composto, gerando valor agregado ao produto final em cadeias urbanas de compostagem.

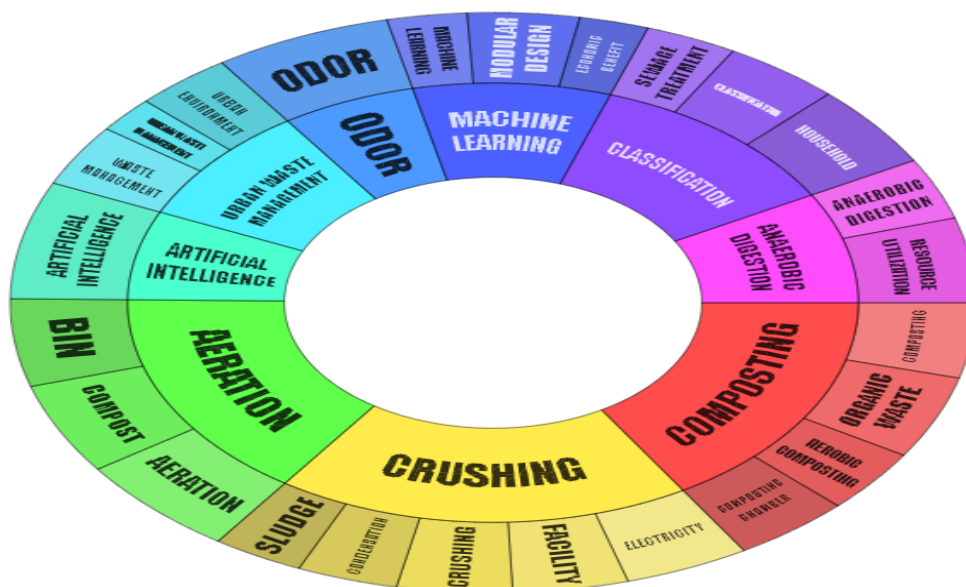
A análise geográfica revelou que a maioria dos registros pertence a países da Ásia e Europa: China (26%) foco em sensores de baixo custo e automação industrial adaptada a resíduos urbanos; Alemanha (19%) desenvolvimento de sistemas inteligentes para cidades sustentáveis; Estados Unidos (15%) startups ambientais com soluções de gestão descentralizada; Brasil (11%) iniciativas ainda concentradas em universidades e NITs..

Apesar do avanço tecnológico, algumas lacunas foram identificadas, entre elas: Poucos projetos associam compostagem urbana a blockchain de forma aplicada; A maioria dos dispositivos ainda requer conhecimento técnico para operação, o que dificulta o uso em comunidades com baixa capacitação tecnológica; Ausência de normas técnicas e regulamentos específicos para modularidade e interoperabilidade entre sistemas.

Por outro lado, foram detectadas oportunidades importantes: Adaptação de tecnologias já maduras em outras áreas (como logística ou agricultura de precisão) para o contexto urbano da

Figura 4: Painel de tecnologias e suas aplicações

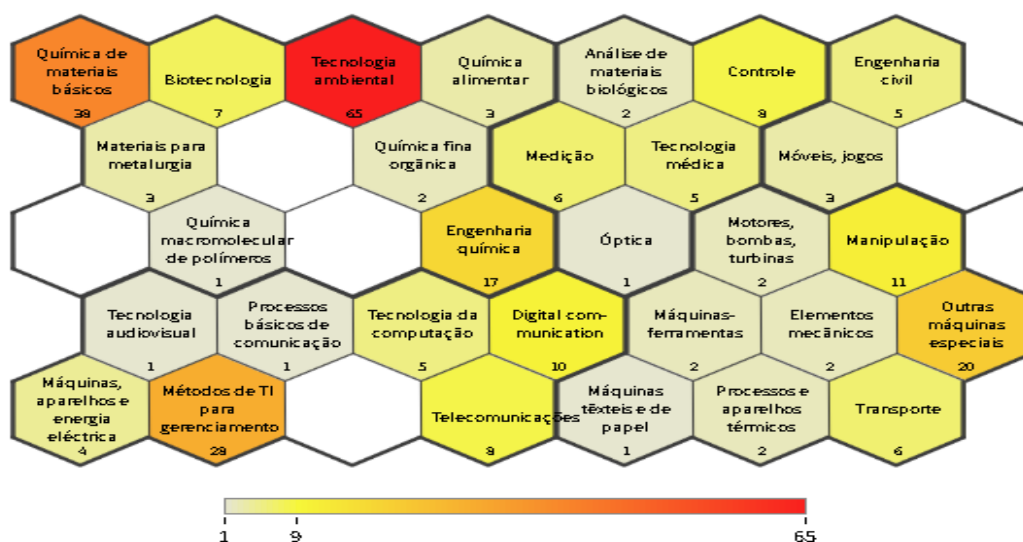
Tecnologias e aplicações



Fonte: Questel (2025)

A prospecção tecnológica demonstra, assim, um campo fértil para desenvolvimento de soluções aplicáveis à gestão de resíduos urbanos orgânicos com forte componente digital. O próximo passo será apresentar os cenários construídos a partir dessas evidências tecnológicas e científicas.

Figura 5: Painel geral de tecnologias da compostagem



Fonte: Questel (2025)

4 ESTUDO PROSPECTIVO (CENÁRIOS)

A construção de cenários prospectivos constitui uma etapa fundamental deste estudo, pois permite projetar futuros plausíveis e orientar estratégias para o desenvolvimento e a implementação de sistemas modulares de compostagem urbana com monitoramento digital. Utilizando a metodologia de cenarização proposta por Michel Godet (2000), foram construídos quatro cenários exploratórios que representam diferentes trajetórias possíveis de evolução tecnológica, institucional e social até o horizonte de 2035.

A elaboração dos cenários foi baseada na identificação de variáveis críticas relacionadas ao tema estudado, organizadas nas dimensões social, tecnológica, econômica, ambiental e político-institucional. As principais fontes para essa etapa foram os dados obtidos na prospecção científica e tecnológica, além de relatórios de organizações multilaterais (PNUMA, ONU-Habitat), planos nacionais de resíduos sólidos e políticas de inovação urbana.

As variáveis selecionadas foram analisadas com base em dois critérios: Grau de incerteza: quanto menos previsível a evolução da variável, maior sua incerteza e Grau de impacto: quanto maior sua influência sobre o sistema em análise, maior seu impacto. A partir dessa matriz, foram selecionadas as variáveis de maior impacto e incerteza, que serviram como eixos estruturantes dos cenários: (i) grau de apoio institucional à inovação em compostagem urbana; (ii) nível de adesão social às práticas sustentáveis; (iii) maturidade tecnológica e acessibilidade dos sistemas modulares inteligentes.

Cenário 1 – Otimista: Cidades circulares e compostagem digital universal

Neste cenário, há forte engajamento de governos locais, organizações comunitárias e empresas de tecnologia em promover a compostagem como serviço urbano essencial. Políticas públicas de incentivo à economia circular são implementadas com subsídios para adoção de sistemas modulares inteligentes. A tecnologia torna-se acessível, com sensores de baixo custo, apps integrados e suporte técnico local. A compostagem se integra a hortas urbanas e políticas de agricultura regenerativa.

Cenário 2 – Tendencial: Avanço seletivo e soluções descentralizadas

Representa uma evolução progressiva, com adesão crescente a soluções tecnológicas de compostagem em setores específicos (escolas, empresas, bairros planejados), porém sem uma política pública ampla de massificação. As tecnologias são acessíveis a médio prazo, mas a operação ainda requer conhecimento técnico. Iniciativas descentralizadas lideradas por ONGs, coletivos e universidades atuam como catalisadoras do processo.

No gráfico 2, é demonstrado que ainda prevalecem entraves econômicos, institucionais e culturais que limitam a adoção da compostagem digital. A ausência de políticas públicas, o desconhecimento sobre o potencial das tecnologias sustentáveis e a falta de articulação entre setores impedem avanços significativos. O tratamento de resíduos orgânicos continua baseado em aterros sanitários e transporte convencional. Poucas experiências de compostagem digital são isoladas e não possuem escala e com isso baixa relação de investimentos.

Gráfico 2: Tendência de investimentos nos últimos anos



Fonte: Questel (2025)

Cenário 3 – Disruptivo: Transformação acelerada e Integrada

Trata-se de um cenário de transformação acelerada, impulsionado por crises climáticas, restrições ambientais severas e revoluções tecnológicas. A compostagem digital integra-se ao conceito de cidades regenerativas, com plataformas interoperáveis que articulam compostagem, energia renovável, agricultura urbana e indicadores de sustentabilidade. O uso de blockchain, sensores inteligentes, inteligência artificial e participação cidadã em tempo real permite rastreabilidade total e automação do ciclo dos resíduos.

Tabela 1: Análise Comparativa dos Cenários

Dimensão	Otimista	Tendencial	Disruptivo
Apoio Institucional	Alto	Médio	Muito Alto
Adesão social	Ampla e Participativa	Parcial e Localizada	Total e Engajada
Acesso à Tecnologia	Amplo e Subsidiado	Moderado e Segmentado	Avançado e Universal
Impacto Ambiental	Elevado (Positivo)	Moderado	Altíssimo (Positivo)
Inovação Tecnológica	Incremental e Contínua	Pontual	Disruptiva e Integrada

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Cada cenário oferece elementos para orientar políticas públicas, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, ações de educação ambiental e estratégias de empreendedorismo social. Com base nesses cenários, torna-se possível delinear agendas de ação que permitam transitar do cenário inercial para o cenário otimista ou disruptivo, aproveitando as oportunidades tecnológicas e fortalecendo capacidades institucionais e comunitárias.

A discussão tem como objetivo integrar e interpretar os achados oriundos das prospecções científica e tecnológica, bem como dos cenários construídos, com vistas a gerar insights relevantes sobre a viabilidade, os desafios e as oportunidades de implantação de sistemas modulares de compostagem urbana com monitoramento digital. Os resultados demonstram que há um avanço significativo na produção científica voltada à compostagem urbana, especialmente a partir de 2020, quando a pauta da sustentabilidade urbana ganhou destaque nas agendas de pesquisa. No entanto, verifica-se que grande parte dos estudos ainda está centrada em aspectos técnicos do processo de compostagem, com menor ênfase na interface com tecnologias digitais e sistemas inteligentes. Essa lacuna entre ciência e tecnologia evidencia a necessidade de fortalecimento de ambientes de inovação que promovam a aproximação entre universidades, centros de pesquisa, startups ambientais, empresas de tecnologia e governos locais. Por fim, destaca-se o papel central da educação ambiental e da participação cidadã para o êxito de qualquer estratégia de compostagem urbana.

Em síntese, os resultados deste estudo apontam para uma convergência entre inovação tecnológica, sustentabilidade urbana e transformação social, com a compostagem digital

desempenhando um papel estratégico na construção de cidades mais resilientes, circulares e conectadas ao bem-estar coletivo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema modular de compostagem urbana com monitoramento digital comunitário representa uma proposta inovadora ao integrar tecnologia apropriada, participação cidadã e sustentabilidade. A análise prospectiva demonstrou que, embora existam soluções parcialmente similares, há espaço para inovação protegível e escalável. Com base nas evidências coletadas, recomenda-se a continuidade do desenvolvimento do protótipo com testes em campo e parcerias interinstitucionais. A proteção intelectual deve considerar registro de software, patente de modelo de utilidade e design industrial.

Além disso, é viável a busca de apoio via editais de fomento como os da Finep, CNPq, Sebrae e agências de inovação estaduais. Este artigo contribui para a discussão sobre como tecnologias sociais podem ser aliadas à propriedade intelectual, promovendo soluções sustentáveis com impacto ambiental e social mensurável.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Através deste foi possível identificar tendências, mapear lacunas e delinear possíveis futuros para uma prática ambientalmente eficaz e socialmente inclusiva. As evidências reunidas demonstram que a compostagem urbana, especialmente quando apoiada por tecnologias digitais, tem potencial para se consolidar como uma estratégia-chave na promoção da sustentabilidade das cidades. A construção dos cenários prospectivos – Otimista, Tendencial, Inercial e Disruptivo – permitiu compreender as múltiplas trajetórias que a compostagem urbana com o monitoramento digital pode assumir nos próximos anos. Esses cenários destacam a influência decisiva de fatores como políticas públicas de incentivo, acesso à tecnologia, engajamento social e maturidade dos sistemas de inovação.

Desta forma, infere-se que os sistemas modulares de compostagem urbana com monitoramento digital representam uma fronteira estratégica de inovação socioambiental, com grande potencial para contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e com a construção de cidades mais justas, resilientes e regenerativas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pelo apoio institucional e pelo patrocínio concedido por meio da bolsa de estudos, fundamentais para a realização

e o desenvolvimento desta pesquisa. O incentivo da FAPESPA contribuiu de forma decisiva para a dedicação às atividades acadêmicas e para a produção do conhecimento científico, fortalecendo a pesquisa e a inovação no estado do Pará.

REFERÊNCIAS

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023. São Paulo: ABREMA, 2023. Disponível Em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf. Acesso em: jul. 2025.

GODET, Michel. Manual de prospectiva estratégica: metodologia para construir o futuro. Rio de Janeiro: Garamond, 2000. <https://www.researchgate.net/publication/342021267>. Acesso em: jul. 2025.

KITCHENHAM, B. Procedures for Performing Systematic Reviews. Joint Technical Report Software Engineering Group, Department of Computer Science Keele University, 2004.

PORTO, G. S.; CRUZ, A. S.; SILVA, F. T. Inteligência competitiva e vigilância tecnológica: uma proposta de integração para a gestão da inovação. Revista Gestão & Tecnologia, v. 18, n. 3, p. 88–110, 2018.

WIPO – WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. Patentscope database. Disponível em: <https://patentscope.wipo.int/>. Acesso em: jul. 2025.

ESPACENET – European Patent Office. Base de dados de patentes. Disponível em: <https://worldwide.espacenet.com/>. Acesso em: jul. 2025.

INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Banco de patentes. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/>. Acesso em: jul. 2025.

GOOGLE PATENTS. Base de dados de patentes. Disponível em: <https://patents.google.com/>. Acesso em: jul. 2025.

SCOPUS. Base de dados bibliográfica. Elsevier. Disponível em: <https://www.scopus.com/>. Acesso em: jul. 2025.

WEB OF SCIENCE. Base de dados bibliográfica. Clarivate. Disponível em: <https://www.webofscience.com/>. Acesso em: jul. 2025.

BDTD – BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES. IBICT. Disponível em: <https://bdtb.ibict.br/>. Acesso em: jul. 2025.

GOOGLE SCHOLAR. Base de dados acadêmica. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: jul. 2025.

ONU-HABITAT. Cidades Sustentáveis e Inclusivas. Relatório Mundial sobre os Assentamentos Humanos. Nova York: ONU, 2022.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Brasília: Presidência da República, 2010.

ALMEIDA, R. Compostagem e sustentabilidade: práticas socioambientais em zonas urbanas. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 14, n. 2, p. 113–129, 2018.

SILVA, L. M. Compostagem comunitária e educação ambiental: inovação social em áreas urbanas. Ciência & Sociedade, v. 22, n. 3, p. 55–74, 2020.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Projeto Composta Sampa. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/>. Acesso em: jun. 2025.

CICLO ORGÂNICO. Relatórios institucionais. Disponível em: <https://www.cicloorganico.com.br/>. Acesso em: jun. 2025.