

Aplicação dos conceitos e ferramentas de IoT à gestão da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos: uma exploração inicial

Application of IoT concepts and tools for managing the organic fraction of Municipal Solid Waste: an initial exploration

Aplicación de los conceptos e herramientas de IoT a la gestión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos: una investigación inicial

Marco Aurélio Soares de Castro

Professor Doutor, UNICAMP, Brasil
marcocastro@ft.unicamp.br

Jacqueline Mazini Lafratta

Mestranda, UNICAMP, Brasil.
J044150@dac.unicamp.br

RESUMO

Em virtude de maciços processos urbanizatórios, prevê-se a maioria absoluta da população mundial residirá em cidades até o ano de 2050. Em face das mudanças no ambiente urbano, impõe-se o desafio de não apenas manter como ampliar e aperfeiçoar os serviços prestados à população como um todo, o que levou à definição do conceito de resiliência urbana. O uso de Tecnologias de Informação e Comunicação tem sido investigado como uma possibilidade de atender a esse desafio, notadamente no contexto das cidades inteligentes, que preveem uso maciço da chamada Internet das Coisas (Internet of Things – IoT). Este trabalho visa identificar as possibilidades de aplicação do conceito e de ferramentas de IoT para aperfeiçoar processos e estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos, sobretudo de suas frações orgânicas. Após uma revisão de literatura inicial, uma pesquisa em bases digitais revelou artigos focados na aplicação de IoT no desenvolvimento de lixeiras inteligentes, na otimização de rotas de coleta de resíduos urbanos e no monitoramento de alguns parâmetros de processos de compostagem. A quantidade de trabalhos identificados sinaliza um amplo campo de pesquisas sobre tecnologias aplicadas à gestão de resíduos e outros serviços de saneamento, todos eles fundamentais para garantir qualidade de vida às pessoas residentes no ambiente urbano, cada vez mais povoado e populoso.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos. Compostagem. IoT.

ABSTRACT

Due to massive urbanization processes, it is expected that the majority of the world's population will be living in cities by 2050. In face of these changes in urban areas, the challenge will not only be maintaining but also expanding and improving urban services provided to the population, which has given rise to the concept of urban resilience. The use of communication and information technologies has been presented as a possibility for achieving these challenges, particularly in the context of smart cities, which predicts a heavily use of the so called Internet of Things or IoT. Thus, this study aimed to identify the possibilities of IoT applications for improving municipal solid waste management processes and strategies with a focus on its organic fractions. A preliminary literature review revealed that current publications have focused on IoT applications for integrated waste collection systems using smart bins and vehicle route optimization and for monitoring a few parameters on composting processes. Overall, the number of studies identified by the present study shows that a broad field of research still needs to be explored on applied technologies for waste management and other sanitation services. Such technologies will be crucial to ensure quality of life for city dwellers living in an increasingly inhabited and crowded world.

KEYWORDS: Solid Waste. Composting. IoT

RESUMEN

Debido a los procesos de urbanización masiva, se espera que la mayoría de la población mundial viva en ciudades para 2050. Frente a estos cambios en las zonas urbanas, el reto no sólo será mantener, sino también ampliar y mejorar los servicios urbanos que se prestan a la población, lo que ha dado lugar al concepto de resiliencia urbana. La utilización de las tecnologías de la comunicación y la información se ha presentado como una posibilidad para lograr esos retos, en particular en el contexto de las ciudades inteligentes, que prevén un uso intensivo del llamado Internet de las cosas (Internet of Things – IoT) . Así pues, este estudio tenía por objetivo determinar las posibilidades de las aplicaciones de IoT para mejorar los procesos y estrategias

de gestión de los desechos sólidos municipales, centrándose en sus fracciones orgánicas. Un examen preliminar de la bibliografía reveló que las publicaciones actuales se han centrado en las aplicaciones de IoT para los sistemas integrados de recogida de desechos mediante la optimización de las rutas de los vehículos y la vigilancia de sólo unos pocos parámetros de los procesos de compostaje. En general, el escaso número de estudios identificados por el presente estudio muestra que aún queda por explorar un amplio campo de investigación sobre las tecnologías aplicadas a la gestión de desechos y otros servicios de saneamiento. Esas tecnologías serán cruciales para garantizar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades que viven en un mundo cada vez más poblado.

PALABRAS CLAVE: Residuos sólidos. Compostaje. IoT

1 INTRODUÇÃO

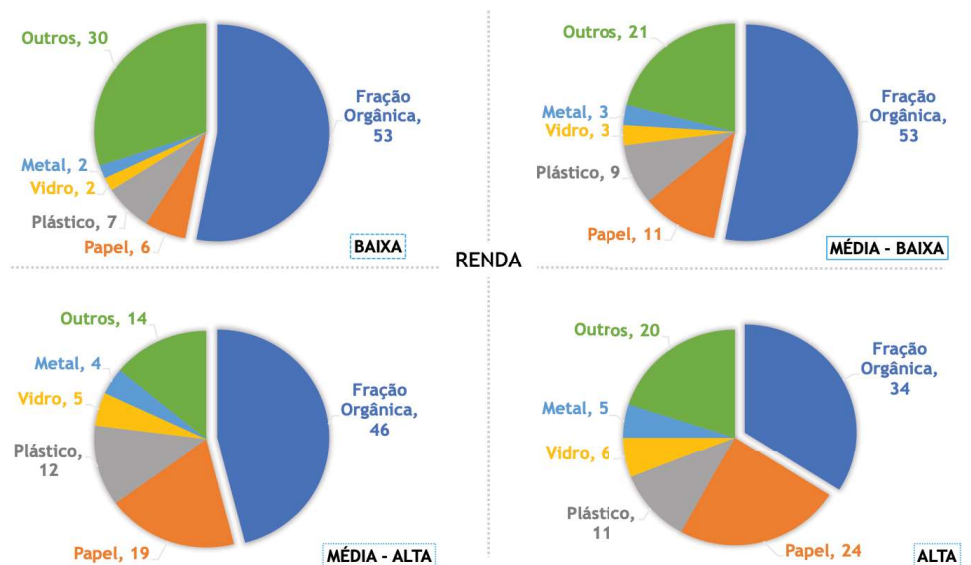
1.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O desenvolvimento econômico, o crescimento populacional, que deve aumentar em 2 bilhões de pessoas até 2050 (WILSON et al., 2015), aliados ao aumento de até 70% na taxa de urbanização nos próximos 30 anos (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020), implicarão no aumento do consumo de recursos naturais e, conseqüentemente, na geração de resíduos, tornando ainda mais complexo todo planejamento e implantação de um sistema de gestão de resíduos ambientalmente adequado, o que por sua vez, pode trazer grandes impactos econômicos, sociais e ambientais (KAZA et al., 2018). Desta forma, garantir a correta caracterização, segregação e tratamento adequado de resíduos sólidos urbanos (RSU) permanece um grande desafio para qualquer país ou cidade pelo mundo. A geração de resíduos cresce em uma velocidade que o mundo ainda não está preparado para lidar adequadamente com o problema. A população mundial gera anualmente mais de dois bilhões de toneladas de RSU, com previsão de aumento de 70% (ou seja, 3,4 bilhões de toneladas) em 30 anos. Os países de renda baixa e média contribuirão com 40% ou mais da geração de RSU prevista

(WILSON et al., 2015; KAZA et al., 2018). Em uma visão mais ampla, a geração de resíduos, incluindo resíduos industriais, comerciais, de demolição e construção civil pode chegar a 10 bilhões de toneladas por ano (WILSON et al., 2015)

Um sistema de gestão e gerenciamento de RSU devidamente fundamentado é essencial para o tratamento e disposição ambientalmente adequada dos mesmos, porém, este paradigma está muito longe da realidade vivida em muitos países, principalmente, os de baixa renda. As taxas de coleta de RSU variam muito de um país para outro. Enquanto, os países desenvolvidos atingem níveis de coleta de mais de 90%, os países de renda baixa coletam em torno de 48% dos resíduos que geram (KAZA et al., 2018). Outros pontos preocupantes entre os países em desenvolvimento são as taxas de tratamento e disposição dos RSU. Cerca de 33% dos rejeitos gerados são descartados em áreas a céu aberto sem tratamento algum, e quase 40% são dispostos em alguma forma de aterro, sem a garantia de qualquer atendimento as normas ambientais existentes (KAZA et al., 2018). A realidade de países desenvolvidos e países em desenvolvimento diferem também quanto aos tipos e volumes de RSU gerados (Figura 1).

Figura 1: Variação da Composição dos RSU por nível de renda do país



Fonte: WILSON et al (2015), adapt.

1.2 FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU)

Os países subdesenvolvidos e emergentes geram uma significativa fração de resíduos sólidos orgânicos devido a fatores culturais, nível de desenvolvimento econômico e hábitos de consumo. Em países de maior renda, 30% em média dos RSU gerados corresponde à fração orgânica, enquanto os países mais pobres são responsáveis por uma fração maior, entre 50% a 70%. Portanto, quanto maior o nível econômico do país, menor é a fração orgânica gerada (WILSON et al., 2015; KAZA et al., 2018). A porcentagem de geração de resíduos sólidos orgânicos anual no mundo está entre 44 a 46% do total de RSU gerado (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020).

Outro fator de diferença entre os países é a origem desses resíduos sólidos orgânicos (RSO). Países desenvolvidos tendem a desperdiçar alimentos que ainda poderiam ser

utilizados, ao passo que os países subdesenvolvidos e emergentes tendem a descartar alimentos que não podem mais ser ingeridos, aqueles que sobram depois do preparo de uma refeição (WILSON et al., 2015). Além disso, nos países mais ricos a perda ocorre nos níveis de varejo e consumo. Já nos países emergentes e subdesenvolvidos, a perda acontece nos níveis de pós-colheita e de processamento (GUSTAVSSON et al., 2011).

1.2.1 COMPOSTAGEM: ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO DA FORSU

Os resíduos sólidos orgânicos são constituídos por quaisquer materiais orgânicos de origem vegetal ou animal como restos de alimentos e resíduos de limpeza de áreas verdes como folhas e podas de jardim (LIM; LEE; WU, 2016). Portanto, o tratamento e aproveitamento da fração orgânica dos resíduos através do processo de compostagem é uma alternativa plausível para reduzir significativamente a fração

de resíduos orgânicos dispostos em aterros ou mesmo de forma inadequada; própria Lei Federal 12305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, preconiza a não geração; na impossibilidade desta, porém, os resíduos gerados devem ser alvo de medidas de redução, reutilização, reciclagem e tratamento, antes de se cogitar a disposição ambientalmente adequada em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

A compostagem consiste na decomposição da matéria orgânica por diferentes microrganismos que convertem o resíduo em um composto estável, livre de patógenos que pode ser utilizado como adubo para plantas (HAUG, 1993). O processo também pode gerar um líquido biofertilizante, a partir da umidade natural dos resíduos compostados, e ao mesmo tempo tem potencial para reduzir significativamente o envio de resíduos para aterros sanitários, dadas as significativas frações orgânicas mencionadas no item anterior.

Três etapas de decomposição são identificadas no processo: mesofílica, termofílica e de maturação (humificação):

- Fase mesofílica: Fase curta de crescimento de microrganismos, principalmente de bactérias, que irão metabolizar as moléculas mais simples da matéria orgânica durante aproximadamente 15 dias. A temperatura pode chegar até 40 °C.

- Fase termofílica: Fase mais longa, com duração de pelo menos dois meses. O material orgânico é submetido aos microrganismos termófilos, que sobrevivem a temperatura de até 70°C; ocorre a

eliminação da maioria dos patógenos.

- Fase de maturação: Fase caracterizada pela queda da atividade microbiana, declínio da temperatura entre 25-30°C e estabilização do composto, que pode então ser utilizado (DIAZ et al., 2007; CASAS et al., 2014).

Os parâmetros que influenciam no controle do processo de compostagem são: temperatura, teor de umidade, pH, aeração, relação C / N e tamanho de partícula (DIAZ et al., 2002) e, devem portanto, ser monitorados:

- Aeração: sendo a compostagem um processo aeróbio, a aeração é necessária para suprir a demanda de oxigênio exigida pela atividade microbiológica, além de atuar no controle de temperatura; A ausência de oxigênio pode levar à morte dos organismos aeróbios e à proliferação de organismos anaeróbios, causando maus odores, e retardar o processo de decomposição e maturação da matéria orgânica.

- Temperatura: o aquecimento das pilhas de compostagem ocorre naturalmente devido ao metabolismo exotérmico dos microrganismos. Baixa temperatura inibe o crescimento de microrganismo termofílicos que são responsáveis pela segunda etapa de decomposição da matéria orgânica. Além disso, a alta temperatura ajuda na eliminação de patógenos. Temperatura muito alta pode eliminar toda a flora mesófila prejudicando a fase de maturação e, conseqüentemente, a estabilidade do substrato.

- Umidade: o teor de umidade deve ficar em torno de 40-60% para que não interfira na oxigenação do processo, e nem retarde o tempo

de compostagem. Umidade em excesso causa o preenchimento dos espaços vazios do substrato, reduzindo o fornecimento de oxigênio para os microrganismos, que por consequência, acabam morrendo. Baixa umidade prejudica a atividade microbiana, pois a falta de água prejudica a absorção dos nutrientes pelos microrganismos através de suas paredes celulares (SOUZA et al., 2020).

- Dimensões da partícula: devem variar entre 1 a 5 cm; abaixo dessa faixa, podem causar a compactação do material; acima, fazem com que a decomposição seja mais lenta;

- Relação C/N: o carbono e o nitrogênio são elementos essenciais para o crescimento e a divisão das células dos micro-organismos. O Carbono é fonte de energia, enquanto o nitrogênio é essencial para a síntese de proteínas. Portanto, a relação ideal de C/N para a metabolização da matéria orgânica está na proporção 30:1(SOUZA et al., 2020)

- pH: a compostagem ocorre na faixa de pH entre 4,5 e 9,5; O pH do composto já estabilizado deve ser maior de 7,8. O pH elevado reduz a atividade microbiana, retardando o tempo de reação de início do processo de compostagem. pH abaixo do desejado impede o crescimento microbiano do organismos termófilos, tornando o aumento de temperatura mais vagarosa (SOUZA et al., 2020).

Portanto, é fundamental o monitoramento sistemático do processo, o que convencionalmente ocorre com a atuação presencial frequente de uma ou mais pessoas, munidas de equipamentos de medições manuais e capacidade técnica para intervir no processo, se

necessário.

1.3. CIDADES INTELIGENTES (SMART CITIES) E INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS)

O uso do termo *smart* começou na década de 1990 como uma maneira de apresentar as infraestruturas necessárias para suportar a tecnologia da informação e comunicação necessárias no meio urbano e que estavam surgindo nas cidades. A partir de 2008, a cidade passa a ser considerada como um ecossistema de prestação de serviços para sua população, que espera melhorias nos serviços prestados; a tecnologia ainda é vista como um dos meios para se alcançar a eficiência e não como o "ponto chave" (ALBINO et al., 2015).

No ano de 2010 percebe-se um enfoque na otimização no consumo de recursos como água e energia para reduzir e evitar o desperdício. A cidade é percebida como uma conexão entre infraestruturas (meio físico), população (meio social) e negócios e serviços (meio econômico). Em 2011 iniciativas buscam atingir a qualidade de vida plena nas cidades, mantendo um ambiente saudável, inclusivo e competitivo, inclusive por meio de políticas públicas para garantir o desenvolvimento urbano sustentável para a população como um todo (ALBINO et al., 2015).

Em 2013, Albino et al. (2015) identificaram iniciativas pioneiras no monitoramento de aspectos de sustentabilidade, qualidade de vida, índices de felicidade da população, crescimento econômico, entre outros, chegando-se ao conceito de cidades inteligentes que buscam a melhoria contínua do desempenho urbano através da utilização de

dados e tecnologias da informação, para prestar serviços de maior qualidade e eficiência, otimizar infraestrutura, incentivar modelos de negócios inovadores no setor público ou privado.

No mundo todo, mais de cinquenta conceitos diferentes são aceitos para o termo *Cidade Inteligente*. Por exemplo, para Lazarou e Roscia (2012), *Smart City* consiste em “uma nova forma de viver e considerar a cidade, apoiada em TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação) que podem ser integradas em soluções para gestão da energia, água, segurança pública, mobilidade e gestão de resíduos”. Já segundo o Consórcio Ambiente *Smart City* (2017), Cidade Inteligente é

“aquela que, por meio da absorção de soluções inovadoras, especialmente ligadas às TICs, ao movimento da Internet das Coisas (...) [e] otimiza o atendimento às suas demandas públicas (as quais variam de acordo com a Cidade em estudo), aproximando-se, tanto quanto possível, do estágio tecnológico vigente da humanidade. (CONSÓRCIO AMBIENTE SMART CITY, 2017)

As diferentes abordagens demonstram que não há uma unanimidade a respeito da definição de cidades inteligentes, ainda mais quando elas são observadas sob diferentes domínios do conhecimento (MEIJER e BOLÍVAR, 2016). Porém, há um ponto em comum entre todas as definições: o uso das TICs, com a

adesão ao conceito de Internet das Coisas.

O conceito básico da Internet das coisas ou *Internet of Things* (IoT) é conectar quaisquer dispositivos/objetos entre si (coisa-coisa) ou ao usuário (humano-coisa), através da internet, para que seja possível a interação e comunicação entre eles (EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM ON SMART SYSTEMS INTEGRATION, 2008), em qualquer parte do mundo à qualquer hora (DINIZ, 2006). Portanto, qualquer equipamento utilizado no cotidiano das pessoas desenvolvido com o conceito IoT é capaz de monitorar, controlar e trocar informação remotamente (SURESH et al., 2014), isto é, são dispositivos desenvolvidos para que atuem de forma autônoma (KEVIN, 2010), ou com o mínimo de intervenção humana, possibilitando assim tomadas de decisão mais rápidas e inteligentes, proporcionando comodidade e maior eficiência nas atividades humanas.

O termo “IoT” foi primeiramente empregado em 1999, ao relacionar identificação por radiofrequência (RFID) em rede, tecnologia de sensores e internet (KEVIN, 2010). Porém, o conceito, do que mais tarde viria a ser conhecido como IoT, já tinha sido apresentado por Mark Weiser alguns anos antes, quando descreveu o conceito de computação obíqua. O Quadro 1 apresenta os principais fatos históricos no desenvolvimento do termo “Internet das coisas”.

Quadro 1: Histórico de desenvolvimento da Internet das coisas (IoT)

Ano	Fatos
1991	Mark Weiser publica o artigo "The Computer for the 21st Century", que descreve a computação obíqua, dando início, ao que mais tarde se tornaria o conceito da IoT.
1999	Kevin Aston pela primeira vez emprega o termo IoT, ao relacionar RFID em rede, tecnologia de sensores e internet.
2003	Lançamento da EPC - <i>Network Electronic Product code</i> (código eletrônico do produto) pela Auto - ID Center.
2005	Exigências do uso de etiquetas RFID pelos fornecedores da cadeia de suprimentos do Wall Mart e do Departamento de Defesa Americano. Este ano é o marco inicial da IoT devido à utilização em massa do sistema RFID na cadeia de abastecimento.
2008/2009	Cisco IBSG (Internet Business Solutions Group) informa que o número de dispositivos conectados à internet ultrapassou o número de pessoas no mundo. Ano de nascimento da IoT.

Fonte: FREITAS DIAS (2016), adapt.

Atualmente, a IoT já pode ser compreendida como uma rede composta por três principais componentes: *hardware* (sensores, atuadores e chips), *software* (armazenamento e análise de dados), e rede de comunicação, sobretudo, sem fio (*bluetooth*, *wi-fi* e infravermelho) (GUBBI et al., 2013); (KNUD e LUETH, 2015); (ALBERTIN e ALBERTIN, 2017), McEwen e Cassimally (2014) resumem o conceito de IoT em uma equação simplificada:

$$\text{objeto físico} + (\text{sensores, atuadores e controladores}) + \text{internet} = \text{IoT}$$

Assim sendo, ao proporcionar acesso e interconexões inteligentes entre uma diversidade de dispositivos (KHARE; KHARE, 2018), a IoT tem permitido vislumbrar e desenvolver inúmeros tipos de aplicações e serviços no campo social, ambiental (GUBBI et al., 2013), industrial, agrícola, transporte e da saúde (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

Com a expansão de *hardwares* e *softwares* conectados através de redes de transmissão, a IoT tem

se incorporado aos hábitos das pessoas sem que muitas percebam seu rápido crescimento. Para se ter uma ideia da velocidade de expansão e adoção do conceito, em 2003 havia 500 milhões de dispositivos conectados no mundo todo. Ou seja, a população estimada para aquele ano era de aproximadamente 6,5 bilhões de pessoas sendo menos de um dispositivo conectado à internet por pessoa no mundo. Já em 2020 a quantidade de dispositivos conectados à internet é de 50 bilhões, 100 vezes maior em menos de 20 anos; contabilizando mais de 6,5 dispositivos conectados à internet por pessoa (IBSG; DAVE EVANS, 2011). Portanto, o mercado de IoT continuará a crescer a medida suas oportunidades são reconhecidas e absorvidas pelos setores econômicos universais (MEHMOOD et al., 2017).

Neste ponto, cabe citar De Jong et al (2015), que apontam que termos como 'sustentável', 'inteligente' e 'resiliente' muitas vezes chegam a ser usados como sinônimos por ocasião do planejamento e da tomada de decisões referentes às cidades; o termo 'inteligentes', em especial, tem predominado na área de

modernização urbana. Para Meerow et al (2016), ainda que resiliência possa ser definida como a capacidade de, após uma perturbação, retornar a um estado inicial – e que este não seja o mais desejável –, admite-se frequentemente o conceito como positivo, identificando-se uma ênfase crescente na valorização da resiliência das cidades diante da urbanização e das alterações climáticas sem precedentes na história humana.

Destaca-se que a presente pesquisa, sem pretender esgotar a discussão, visa destacar a contribuição de tecnologias de informação e comunicação – elemento marcante do conceito de cidades inteligentes – no aperfeiçoamento de serviços urbanos básicos, entre os quais a gestão de resíduos sólidos urbanos deve ter papel de destaque.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal apresentar uma análise preliminar das possibilidades de aplicação do conceito de IoT à gestão de resíduos sólidos urbanos, sobretudo de sua fração orgânica.

3 METODOLOGIA

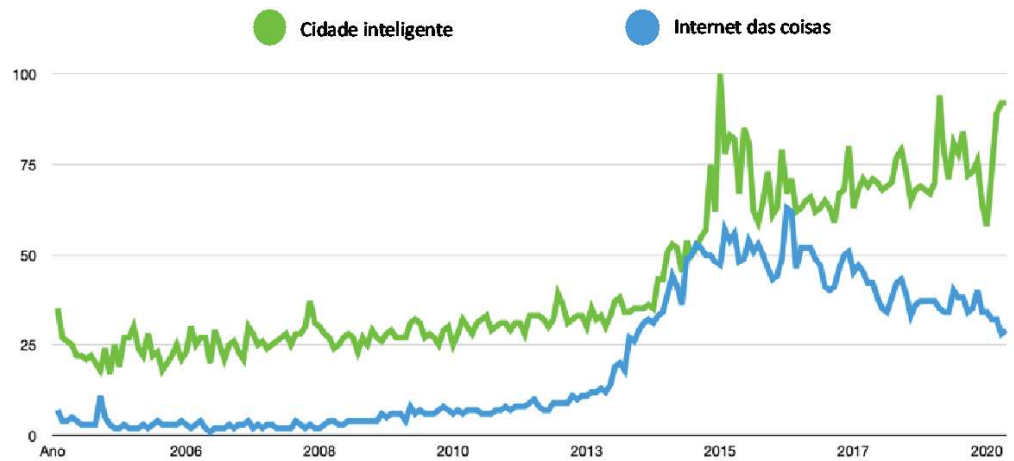
Inicialmente, para contextualizar o assunto e identificar a evolução no interesse pelo tema, uma análise (via Google Trends) verificou a quantidade de buscas pelos termos “IoT” e “Smart Cities”. Além disso, uma busca em artigos científicos apontou os diferentes campos de aplicação da IoT na condição

de cidade inteligente. A seguir, a metodologia compreendeu a pesquisa e leitura de livros, relatórios e outros documentos sobre os temas IoT e gestão de resíduos sólidos orgânicos. Por fim, realizou-se uma revisão em artigos especificamente voltados para aplicações de princípios de IoT à gestão deste tipo de resíduo; foram consultadas as bases de dados digitais *Science Direct*, *Web of Science (WOS)*, *Scopus*, *Google Scholar* e portal dos periódicos CAPES utilizando-se as palavras-chaves *IoT*, *composting*, *compost monitoring*, *food waste*, *waste management*, *restaurant food waste*, *biowaste* e *organic waste*. Os artigos obtidos foram analisados, destacando-se as informações relativas ao ano de publicação, local de realização e objetivo da pesquisa, tipo de instalação estudada, resíduo analisado, e os dispositivos e estrutura utilizados.

4 RESULTADOS

Da análise realizada via Google Trends (Figura 1), observou-se que o interesse pelos temas “IoT” e “smart cities” evoluiu de forma similar no mesmo período de tempo analisado, crescendo de forma mais significativa a partir de 2013. Exatamente no ano em que Albino et al (2015) identificaram iniciativas pioneiras no monitoramento de aspectos de sustentabilidade, qualidade de vida, índices de felicidade da população, crescimento econômico, entre outros, através da utilização de dados e tecnologias da informação.

Figura 1: Pesquisas pelos termos "IoT" (Internet das Coisas) e "Smart City" (Cidade Inteligente)



FONTE: Adaptado do Google Trends (2020)

Com efeito, são inúmeras as aplicações oferecidas pela IoT dentro do contexto de *Cidades Inteligentes*, nos campos social, ambiental (GUBBI et al., 2013), industrial, agrícola, transporte e da saúde (ATZORI et al., 2010) (Quadro 2).

Quadro 2: Exemplos de aplicações da IoT por campo de atuação

Campo	Função	Exemplos	Fonte
Social	Casas Inteligentes (smart homes)	Controle de travamento das portas, portões e janelas, climatização da casa, detectores de fumaça, etc.	Knud e Lueth (2015)
	Eletrônicos Inteligentes	Controle de equipamentos domésticos (refrigeradores, máquinas de lavar, TV, etc.)	Gubbi et al. (2013)
	Carros inteligentes (smart cars)	Direção autônoma ou apenas com auxílio do motorista; conectividade com outros carros, serviços de mapeamento ou controle de tráfego.	Knud e Lueth (2015)
	Cidades inteligentes (smart cities)	Monitoramento de vibrações e condições dos materiais em edifícios, pontes e monumentos; iluminação inteligente, adaptável conforme a necessidade; monitoramento de sinistros por vídeo digital, gerenciamento de controle de incêndio e eventos naturais; estradas inteligentes com alertas de acidentes ou engarrafamentos; monitoramento da ocupação de vagas em estacionamentos, possibilidade de reservar vagas disponíveis; detecção da ocupação das lixeiras para otimização da rota de coleta de resíduos.	Mancini (2017)

Ambiental	Recursos naturais	Detecção de níveis de poluição, vazamentos de água e consumo de energia; monitoramento de qualidade da água, ar e solo.	Gubbi et al. (2013); Suresh et al. (2014)
Industrial e varejista	Fábricas inteligentes	Monitoramento de condições ambientais e controle de processos de produção; economia de energia, segurança na manufatura, monitoramento do ciclo de vida dos produtos, rastreamento ao longo da cadeia de suprimento,	Mancini (2017)
	Varejo inteligente	Publicidade baseada em proximidade, medição do comportamento de compra na loja e soluções de pagamento inteligentes.	Knud e Lueth (2015)
	Rede inteligente (smart grid)	Monitoramento e gerenciamento do consumo de energia, distribuição automática de energia, medições remotas de relógios residenciais.	Suresh et al. (2014); Mancini (2017)
Agrícola	Agricultura inteligente	Segurança e rastreabilidade de produtos agrícolas, gerenciamento de qualidade, monitoramento ambiental para produção e cultivo, gerenciamento no processo de produção, utilização de recursos para a agricultura.	Mancini (2017)
	Irrigação seletiva	Otimização e redução no uso de recursos hídricos.	Suresh et al. (2014)
Transporte e logística	Meios de transportes mais eficientes e inteligentes	Monitoramento de tempos de viagem e engarrafamentos, análise da melhor rota, monitoramento de ruído e poluentes atmosféricos; monitoramento dos itens sendo transportados; rastreamento de frota.	Gubbi et al. (2013); Suresh et al. (2014)
Saúde	Dispositivos médicos inteligentes	Monitoramento e controle da frequência cardíaca durante exercícios; monitoramento das condições dos pacientes em hospitais e casas de idosos.	Knud e Lueth (2015); Mancini (2017)
Segurança alimentar	Identidades rastreáveis	Identificação da origem dos produtos e recolhimentos seletivos de itens infectados, garantindo a segurança alimentar e evitando o desperdício	European Technology Platform on Smart Systems Integration (2008)

O estudo mais antigo encontrado sobre monitoramento remoto foi Casas et al (2014). Os pesquisadores utilizaram sensores de temperatura e umidade encapsulados em um material inerte; cada um destes dispositivos, chamados *sensoballs*, foi projetado para funcionar de forma independente em vários pontos da pilha de compostagem, sem necessidade de uma fonte de alimentação externa. Os sensores apresentaram bom desempenho, porém, a densidade e composição do material sendo compostado possivelmente interferiu na

comunicação entre os sensores e o 'hub receptor; as baterias dos dispositivos também duraram menos que o esperado, aparentemente devido às temperaturas mais altas da pilha de composto.

O sistema de coleta baseado em IoT proposto e avaliado por Hong et al (2014) era composto de lixeiras inteligentes, roteadores e servidores. Cada uma das lixeiras usadas para coletar resíduos de alimentos era alimentada por baterias e conectada via rede sem fio a um servidor; este coletava e analisava a situação de todas as lixeiras e as informações dos moradores por meio de leitores RFID. Um sistema de cobrança calculava e realizava a cobrança de um valor baseado na quantidade de resíduo descartado na lixeira. Os coletores podiam verificar as quantidades coletadas, recebendo notificações sempre que uma lixeira atingia 90% de sua capacidade, o que ajudou a otimizar o processo de coleta. O sistema gerou dois benefícios: a política de cobrança por descarte motivou os moradores a reduzir a geração, tendo sido identificada uma redução de 33% na quantidade coletada de resíduos de alimentos; observou-se também uma eficiência maior na coleta de resíduos, tendo havido uma redução de 16% no consumo de energia. Dois problemas foram identificados: a necessidade de aumentar a vida útil das baterias e os custos mais altos de manutenção das lixeiras inteligentes; a geração fotovoltaica de energia e o uso de plásticos mais resistentes, respectivamente, estão sendo considerados para resolver estas questões.

Jordão et al (2017) desenvolveram um sistema automático de baixo custo para monitoramento remoto de

temperatura; a pesquisa foi realizada em uma pilha de compostagem com aeração passiva com capacidade para processar mensalmente 1 tonelada de resíduos de alimentos, aparas de madeira e de grama. Foi observado que a entrada em operação do sistema contribuiu para a redução de visitas do operador à instalação.

Finalmente, Wen et al (2018) discutiram o projeto, implementação e avaliação de uma rede IoT baseada em sensores para aperfeiçoar a gestão de resíduos de alimentos provenientes de restaurantes. O sistema desenvolvido abrangia as fases de geração, coleta, transporte e disposição final dos resíduos. Os dispositivos de coleta também contavam com etiquetas RFID para comunicar informações referentes à massa de resíduos de alimentos e ao restaurante de origem. Os caminhões de coleta e transporte de resíduos receberam sensores para acompanhar variações de peso, e informações de localização em tempo real eram coletadas via GPS, ajudando no monitoramento e ajuste das rotas de caminhões, permitindo otimizar a alocação da frota. Outros sensores também monitoraram as produções de biodiesel, biogás e fertilizante orgânico ocorrendo na instalação que recebia os resíduos. Toda a informação gerada ao longo das etapas era enviada para uma plataforma integrada de gestão para visualização do sistema tempo real, para monitoramento e identificação de possíveis gargalos. Os pesquisadores destacaram sobretudo a melhoria na supervisão e controle da geração de resíduos, coibindo-se práticas ilegais de transporte e descarte de resíduos. Os pontos a melhorar consistiram na dificuldade de remover das lixeiras as etiquetas RFID que eram danificadas e na necessidade de

melhorar a precisão dos sensores de peso utilizados nos caminhões. os tipos de resíduos, objeto de estudo e dispositivos dos sistemas, estão sintetizados no Quadro 3.

Alguns destes aspectos, bem como

Quadro 3: Artigos sobre IoT aplicada à gestão de resíduos sólidos orgânicos

Artigo	Local da pesquisa	Proposta / Instalação Estudada	Resíduo	Dispositivo/Estrutura	Funcionamento
Casas et al. (2014)	Holanda, Áustria e Espanha	Sistema remoto de controle e monitoramento de temperatura e umidade em processos de compostagem	Resíduos orgânicos	Sensor de temperatura; sensor de umidade; comunicação wireless	Testado em vários locais de compostagem na Holanda, Áustria e Espanha
Hong et al. (2014)	Coréia do sul	Sistema de lixeira inteligente baseado em IoT para reduzir o desperdício de alimentos na cidade de Seul	Resíduos orgânicos (descarte domiciliar)	Rede mesh (rede malha sem fio); bateria; identificação por radiofrequência; roteador; servidor; lixeiras inteligentes; comunicação wireless	Sistema instalado próximo a condomínios e casas residenciais. Moradores utilizam cartão de identificação para o descarte do resíduo. Valor pago por volume gerado.
Jordão et al. (2017)	Brasil	Sistema automático de baixo-custo de monitoramento de temperatura aplicado à compostagem	Resíduos orgânicos (restaurante, aparas de madeira e grama)	Placa arduíno; sensor de temperatura; bateria; data logger	O teste de campo consistiu em um sensor para monitorar a temperatura do ar externo e outros dois para monitorar a pilha.
Wen et al. (2018)	China	Sistema de gestão e gerenciamento de resíduos de alimentos baseado em IoT (geração, coleta, transporte, e disposição final).	Resíduos orgânicos (restaurante)	Coletores com etiqueta RFID e sensor de peso; caminhão de coleta com leitor RFID, sensor de peso, GPS, GIS e câmera de vigilância; monitoramento automático da produção de biodiesel, biogás e fertilizantes orgânicos	Plataforma de gerenciamento de dados e estatísticas em tempo real, vigilância local e emissão de alertas do processo.

Observou-se assim que dois dos artigos são fruto de pesquisas visando sobretudo ao aperfeiçoamento de procedimentos de coleta e disposição final de resíduos orgânicos, enquanto que os outros dois analisam possibilidades de aperfeiçoar o monitoramento de parâmetros do processo de compostagem. Estes artigos relacionaram quatro principais vantagens da aplicação

do conceito de IoT no processo de compostagem:

- a. geração de dados para auxiliar no controle e gerenciamento do processo;
- b. tempo de resposta mais rápida quando o sistema é monitorado em tempo real;

c. melhoria das condições de trabalho aos operadores, pela redução à exposição e contaminação por agentes patogênicos

d. otimização do desempenho do processo e das instalações como um todo.

5 CONCLUSÃO

O processo de urbanização crescente impõe a necessidade de repensar inúmeros aspectos do cotidiano, em destaque, na geração de resíduos sólidos urbanos e, conseqüentemente, na gestão desses resíduos. Além disso, a busca por cidades inteligentes pressiona o desenvolvimento e aprimoramento de várias atividades e serviços prestados à comunidade com a utilização das tecnologias de informação e comunicação disponíveis.

A análise inicial via Google Trends identificou que a evolução no interesse pelos temas "IoT" e "smart cities" foram similares no mesmo período de tempo analisado com crescimento mais significativo a partir de 2013. Já o conceito de IoT no contexto de cidades inteligentes se mostrou presente em diferentes campos de atuação: ambiental, social, industrial, agrícola, saúde, transporte e segurança alimentar.

A pesquisa principal identificou as iniciativas de aplicação do princípio e de ferramentas de IoT não apenas na otimização do processo de coleta e disposição final de resíduos sólidos orgânicos, mas também no aperfeiçoamento do monitoramento de parâmetros do processo de compostagem. As vantagens observadas foram na geração de dados para auxiliar no controle e gerenciamento do processo, no tempo

de resposta mais rápida quando o sistema é monitorado em tempo real, na melhoria das condições de trabalho aos operadores, e otimização do desempenho do processo e das instalações como um todo.

Pesquisas mais aprofundadas sobre esta interface das Tecnologias de Informação e comunicação e gestão de resíduos são evidentemente necessárias, porém percebe-se que a melhoria e ampliação destes serviços, que consistem um dos chamados 'pilares do saneamento básico', é fundamental para que as cidades possam efetivamente serem capazes de se adaptar, transformar - e, caso necessário resistir - a determinadas mudanças, sempre de modo a garantir condições adequadas de vida para todas as pessoas que nelas habitem.

6 AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, A. L.; ALBERTIN, R. M. D. M. A internet das coisas irá muito além as coisas. **GV-executivo**, v. 16, n. 2, p. 12, 19 maio 2017.

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. **Journal of Urban Technology**. Toronto, p. 4-21, 2015.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey.

- Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, out. 2010.
- BRASIL. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 22 set. 2010
- CASAS, O. et al. Wireless sensor network for smart composting monitoring and control. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 47, n. 1, p. 483–495, 2014.
- CONSÓRCIO AMBIENTE *SMART CITY*. **Documento de Referência: Ambiente de Demonstração de Tecnologias para Cidades Inteligentes**. 106p., 2017.
- DE JONG, M.; JOSS, S.; SCHRAVEN, D. ZHAN, C.; WEIJN, M. Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities; making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. **Journal of Cleaner Production**, v. 109, December, p. 25-38, 2015.
- DIAZ, L. . et al. **Compost Science and Technology**. 8. ed. Holanda: Elsevier B.V., 2007
- DIAZ, M. J. et al. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. **Process Biochemistry**, v. 37, n. 10, p. 1143–1150, 2002.
- DINIZ, E. H. Internet das coisas. **GV-executivo**, v. 5, n. 1, p. 59, 3 out. 2006.
- EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORM ON SMART SYSTEMS INTEGRATION. Internet of Things in 2020. **Internet of Things in 2020**, p. 1–27, 2008.
- GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.
- GUSTAVSSON, J. et al. **Global Food losses and food waste: extent, causes and prevention**. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/mb060e/mb060e.pdf>>.
- HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost engineering**. Boca Raton, Florida USA: CRC Press LLC, 1993.
- HONG, I. et al. IoT-Based Smart Garbage System for Efficient Food Waste Management. **Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.
- IBSG, C.; DAVE EVANS, A. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. 2011.
- JORDÃO, M. D. L. et al. Low-cost automatic station for compost temperature monitoring. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 11, p. 809–813, 1 nov. 2017.
- KAZA, S. et al. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot**

- of Solid Waste Management to 2050**, 2018.
- KEVIN, A. That ' Internet of Things ' Thing. **RFID Journal**, p. 4986, 2010.
- KHARE, P.; KHARE, A. **Internet of Things for Smart Cities Smart Cities and Smart Spaces**, 2018.
- KNUD, A.; LUETH, L. IoT basics : Getting started with the Internet of Things. **IoT Analytics**, n. March, p. 0–9, 2015.
- LAZAROIU, G. C.; ROSCIA, M. Definition Methodology for the Smart Cities Model. **Energy**, v. 47, n. 1, 2012.
- LIM, S. L.; LEE, L. H.; WU, T. Y. **Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: Recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis** *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd, , 10 jan. 2016.
- MANCINI, M. Internet das Coisas: História, Conceitos, Aplicações e Desafios. n. June, 2017.
- MCEWEN, A. e CASSIMALLY, H. **Designing the internet of things**. Reino Unido: Wiley, 2014.
- MEEROW, S. NEWELL, J. P.; STULTS, M. Defining urban resilience: A review. **Landscape and Urban Planning**, v. 147, March, p. 38-49, 2016.
- MEHMOOD, Y. et al. Internet-of-Things-Based Smart Cities: Recent Advances and Challenges. **IEEE Communications Magazine**, v. 55, n. 9, p. 16–24, 2017.
- MEIJER, A. BOLÍVAR, M. P. R. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. **International Review of Administrative Sciences**, v. 82, n.2, p. 392–408, 2016.
- RICCI-JÜRGENSEN, M.; GILBERT, J.; RAMOLA, A. **Global assessment of municipal organic waste production and recycling**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.iswa.org/iswa/iswa-groups/working-groups/>>.
- SOUZA, L. A. DE et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, p. 194–212, 2020.
- SURESH, P. et al. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. **2014 International Conference on Science Engineering and Management Research, ICSEMR 2014**, 2014.
- WEISER, M. **The Computer for the 21st Century**. [s.l.] Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1995.
- WEN, Z. et al. Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. **Waste Management**, v. 73, p. 26–38, 1 mar. 2018.
- WILSON, D. . et al. **Global Waste Management Outlook Global Waste Management Outlook**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/resources/report/global-waste-management-outlook>>.