

10 - 4 | 2022

Estratégia de Gestão de Resíduos Tecnológicos de Suporte a Economias de Precisão

Technological Waste Management Strategy to Support Economies of Precision

Ngombo Armando | Pascoal Kiluando

Versão eletrónica

URL: <https://revistas.rcaap.pt/uiips/> ISSN: 2182-9608

Data de publicação: 30-12-2022 Páginas: 9

Editor

Revista UI_IPSantarém

Referência eletrónica

Armando N.; Kiluando, P. (2022). Estratégia de Gestão de Resíduos Tecnológicos de Suporte a Economias de Precisão. *Revista da UI_IPSantarém. Edição Temática: Ciências Exatas e da Engenharia*. Número Especial: Conferência Internacional em Transformação Digital: Cooperação Internacional, multiculturalidade, trabalho colaborativo e ambientes inclusivos, sustentáveis e resilientes. 10(4), 18-26. <https://doi.org/10.25746/ruiips.v10.i4.29091>

ESTRATÉGIA DE GESTÃO DE RESÍDUOS TECNOLÓGICOS DE SUPORTE A ECONOMIAS DE PRECISÃO

Technological Waste Management Strategy to Support Economies of Precision

Ngombo Armando

Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Uíge-Angola; Direcção de Investigação Científica, Inovação, Empreendedorismo e Pós-Graduação, Universidade Rainha Njinga a Mbande, Malanje-Angola

ngombo@ieee.org | ORCID 0000-0001-7493-4365 | Ciência ID 5916-4A11-E165

Pascoal Kiluando

Instituto Politécnico, Universidade Kimpa Vita, Kondo Benze Uíge-Angola; Faculdade de Engenharia e Novas Tecnologias, Universidade Gregório Semedo, Luanda-Angola

ck210055@aluno.ugs.ed.ao | ORCID 0000-0003-3731-4591 | Ciência ID A819-0742-FB97

RESUMO

A transformação Digital para o advento de dinâmicas económicas de precisão apoia-se em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Por conseguinte, os componentes deste modelo de economia podem ter uma representação digital para efeitos de monitoramento e rastreio na Internet das Coisas (IoT- *Internet of Things*). As Redes de Sensores Sem Fios (RSSF) suportam o conceito de IoT onde, o número de entes interconectados define tanto a qualidade das informações como a qualidade das decisões que podem ser tomadas num ambiente dinâmico como o das economias circulares. Dada a redução dos custos de instalação das RSSF, antevemos o risco de geração de resíduos tecnológicos a medida que a Economia Circular com suporte às TICs será popularizada. No presente estudo, mostramos a importância da IoT em possibilitar um ambiente económico mais inclusivo, sustentável e resiliente. De igual modo, propomos mecanismos para mitigar o risco de proliferação de componentes tecnológicos necessários para suportar uma economia de precisão. A nossa sugestão é principalmente baseada no registo obrigatório de nós das RSSF e na criação, em Angola, de uma infraestrutura pública de sensoriamento à escala nacional.

Palavras-chave: TIC, IoT, Transformação Digital, Economia Circular, Angola

ABSTRACT

The Digital Transformation for the advent of precision economic dynamics is based on Information and Communication Technologies (ICT). Therefore, the components of such economic models can have a digital representation for both monitoring and tracking within the Internet of Things (IoT). The Wireless Sensor Networks (WSN) support the concept of IoT, where the number of interconnected entities defines the quality of information as well as the quality of decisions that can be made in a

circular economy's environments. Given the reduction in the installation costs of WSN, we anticipate the risk of generating technological waste as the circular economy supported by ICTs will be popularized. In the present study, we show the importance of IoT in enabling a more inclusive, sustainable, and resilient economic environment. Similarly, we have proposed mechanisms to mitigate the risk of proliferation of technological components needed to support a precision circular economy. The suggestion is mainly based on the mandatory registration of WSN nodes and the creation, in Angola, of a public sensing infrastructure on a national scale.

Keywords: ICT, IoT, Digital transformation, Circular Economy, Angola

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento económico, aumento populacional e a escassez de matérias-primas, a Economia Circular tem ganho espaço nos desenhos de políticas de entidades que buscam alternativas ao modelo de economia linear e consequentemente a redução dos impactos socioambientais de suas operações (Lima et al., 2022). O aumento populacional desenvolve o poder de consumo, propiciando o crescimento da procura global e diminuindo a disponibilidade dos recursos pelo menos na mesma proporção. Neste contexto, a necessidade de uma Economia Circular vem se tornando cada vez mais evidente nos dias de hoje, especialmente na busca de uso sustentável e perene dos recursos (Korhonen et al., 2018). Assim, os conceitos tecnológicos como a Internet das Coisas (IoT- *Internet of Things*) e Redes de Sensores Sem Fios (RSSF) estão a ser consideradas como facilitadores digitais para a integração da cadeia de logística reversa a modelos de Economia Circular, possibilitando manter a rastreabilidade e monitoramento em tempo real de processos e produtos, o que proporciona, para as organizações, uma capacidade de respostas mais rápidas ao elevado fluxo de dados que sustentam níveis de produção e consumo mais sustentáveis (Carlos & de Mattos, 2021).

As RSSF constituem uma das áreas das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) que suporta o conceito de IoT, cuja visão é a cooperação de entes físicos e virtuais a escala mundial (Oteafy & Hassanein, 2016). As aplicações da IoT abrangem atividades diárias para fins de monitoramento e rastreamento, incluindo os de uma economia baseada na transformação digital. Atualmente, existem mais de 13 bilhões de dispositivos IoT em operação, com a previsão que o número duplique dentro de 5-7 anos (Statista GmbH, 2022). Analisando a tendência da evolução da eletrônica conforme relatado por (Perlmutter & Breit, 2016), assumimos que as RSSF serão muito populares em breve, devido aos seus preços decrescentes e fácil instalação. Neste contexto, antevemos uma proliferação das mesmas e naturalmente, o risco de resíduos tecnológicos de suporte a economias de precisão. Assim sendo, algumas questões ambientais como congestionamento de dispositivos e desperdício ambiental, devem ser consideradas o quanto antes. O foco do nosso estudo é refletir e propor pistas de soluções sobre os resíduos colaterais inerentes a popularização do digital na Economia Circular.

O restante do artigo segue a seguinte estrutura: A Secção 2 aborda os conceitos tecnológicos de IoT, RSSF e suas aplicações na Economia Circular. Na secção 3, discutimos sobre os riscos de uma proliferação de resíduos tecnológicos por conta da expansão de uma economia sustentada pela transformação digital em espaços públicos. De igual modo, propomos pistas de solução para mitigar este risco, sem impactar a inovação nos procedimentos de uma economia de precisão. Concluimos o artigo na Secção 4, identificando algumas direções para pesquisas futuras no contexto nacional angolano.

2 RSSF, IoT E IMPACTO NA ECONOMIA CIRCULAR

2.1 Estrutura de uma Rede de Sensores Sem Fios

A estrutura típica de uma RSSF é formada por um conjunto de dispositivos eletrónicos conectados sem fios, designados por nós sensores. Os nós formam uma rede de deteção dos recursos do ambiente alvo e reportam estes dados a um nó central designado "coletor". Este último agrega os

valores medidos pelos nós e os processa para produzir uma visão digitalizada sobre o estado do ambiente alvo. A natureza dessas informações pode ser: a temperatura, a humidade, as condições de iluminação, a pressão, a composição do solo, os níveis de ruído, a presença ou ausência de objetos, os níveis de estresse mecânico, a quantidade de objetos e suas características tais como a velocidade, direção, massa e tamanho (Yick et al., 2008). Dependendo do desempenho exigido de uma RSSF, ela pode incluir um determinado número de nós de tamanho e capacidades de computação e comunicação variáveis. A estrutura típica de um nó é composta por quatro partes principais em (Silva et al., 2016):

- Um chip de deteção, para coletar os recursos do ambiente
- Um microcontrolador, que é o núcleo computacional do nó sensor
- Um transceptor, de rádio para permitir a comunicação sem fios entre os nós
- Uma unidade de potência, para fornecer energia elétrica ao nó.

As Redes de Sensores Sem Fios (RSSF) estão na origem do conceito de IoT. Com efeito, elas permitem a aquisição e transmissão de dados contextualizados que são em seguida, processados para se obter uma representação digital do estado e das atividades dos entes físicos alvo (exemplo uma matéria-prima, um produto, um stock). Por fim, estas informações contextualizadas permitem o auxílio a tomadas de decisões automatizadas ou não.

Na subsecção que segue, veremos que a sinergia da IoT e Economia Circular podem gerar grandes quantidades de dados granulares e precisos automaticamente e em tempo real, o que o torna bastante relevante no processo de tomada de decisão (Brous et al., 2020).

2.2 IoT na Economia Circular

A Economia Circular, esquematizada na **Figura 1**, tem um alinhamento direto com processos de produção e de consumo que envolve a redução, recuperação, reutilização e reciclagem de materiais e recursos que já existem, reduzindo ao máximo os resíduos desta cadeia de valor. A Economia Circular tem como objetivo a redução do desperdício e resíduos gerados por esta cadeia, ao mínimo possível.



Figura 1: Funcionamento da Economia Circular. Adaptado de ¹

A utilização das TICs na Economia Circular é relevante, pois busca-se adaptar práticas tecnológicas alinhadas aos métodos de Economia Circular. Através da IoT e redes de sensores, procura-se conectar dispositivos inteligentes para o sensoriamento e monitoramento como forma de gerar, processar, armazenar e analisar dados que caracterizam os componentes funcionais da Economia Circular. Os resultados deste suporte digital impulsionam a criação de estratégias e avanço de processos que tenham práticas circulares como base. Alguns trabalhos mostram como as

¹ <https://www.greenturtle.pt/post/o-que-e-e-como-funciona-a-economia-circular>, acessado a 13/12/2022

tecnologias digitais podem auxiliar na gestão do fluxo de recursos restaurativos e regenerativos, ajudando na coleta de dados gerados pelos sensores através da conectividade das partes interessadas a cadeia de valor. É o caso de um estudo feito em Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (Carlos & de Mattos, 2021), onde instalaram-se dispositivos IoT em 450 caixas coletoras de cartuchos em pontos de vendas. O processo logístico desta gestão de precisão encontra-se ilustrado na **Figura 2**. A estes dispositivos foram atribuídos a função de informar o sistema de monitoramento da empresa e a equipa de analistas quando o nível da caixa coletora atingisse o limiar de 70% da sua capacidade. Desta forma, reduziam-se os custos logísticos e impactos ambientais na logística reversa dos cartuchos, o que otimizava a rota para recolha das caixas com base nos dados coletados pelos dispositivos sensores.

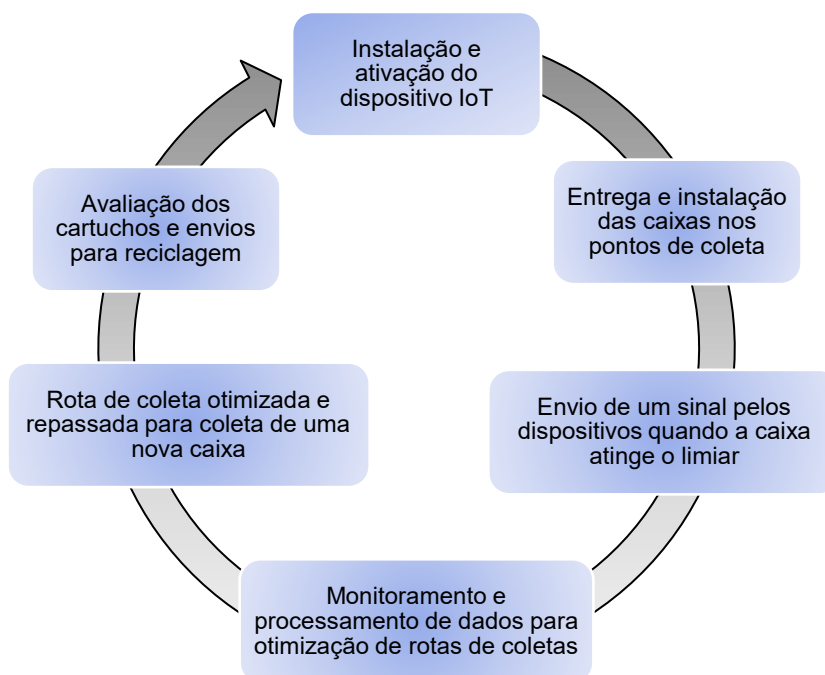


Figura 2: Processo logístico da caixa coletora com dispositivo inteligente. Adaptado de [23]

Em São Bernardo do Campo, Brasil [25], *start-ups* utilizam tecnologias de IoT para o processo de logística reversa que visa a recuperação de forma inteligente das embalagens pós-consumo de refrigerantes, para reciclagem. Os dados fornecidos pela empresa são inseridos em seu sistema onde os algoritmos da plataforma criam os raios de atuação, tendo como base o tamanho do ponto de venda. O sistema conta com equipas de coletores que recebem diariamente rotas de coleta otimizadas, mantendo a segurança e rastreabilidade durante toda a cadeia de intervenção.

Tendo em conta a quantidade de dados gerados e as limitações a nível de abrangência do sinal e consumo de energia das tecnologias convencionais, os atuais esquemas de automatização do processo de Economia Circular digital exploram outras tecnologias de cada vez mais acessíveis. Por exemplo, a LoRaWAN tem sido uma das tecnologias com melhor desempenho em projetos de IoT para necessidades de transmissão de dados a longas distâncias na ordem de vários quilómetros. Aliada a plataforma de gestão de dados contextualizados FIWARE (Sanchez et al., 2022), obtém-se um ambiente tecnológico de alto desempenho e a custo bastante reduzido para sustentabilidade e resiliência da IoT em qualquer uma das suas aplicações, incluindo, naturalmente, em Economia Circular.

O foco de nosso estudo é o impacto em termos de resíduos tecnológicos de uma popularização das RSSF instaladas em espaços públicos. Senso assim, na secção a seguir, discutiremos alguns aspetos das vantagens sociais e económicas das RSSF no espaço público.

3 RISCO DE PROLIFERAÇÃO E PROPOSTA DE GESTÃO DE RESÍDUOS TECNOLÓGICOS

3.1 Desvantagens Ambientais

O número de nós sensores implantados num ambiente aumenta a precisão dos valores relatados, devido à redundância no processo de aquisição de dados. Portanto, uma implantação massiva de RSSF em espaços públicos é uma forma de aumentar a precisão dos recursos relatados nessas áreas. Dali que a precisão necessária para monitorar um negócio de uma rede de venda ambulante nos moldes organizacionais, informais, praticados no mercado angolano, augura o risco de “abandono” de equipamentos eletrónicos na via pública, quando estes deixam de ter utilidade para o proprietário.

O estudo de (Robinson, 2009) chega à conclusão de que o desenvolvimento de redes de computação mais eficientes pode compensar o aumento da produção de lixo eletrónico. Na subsecção 2.1, vimos que uma RSSF é composta por um grande número de nós sensores geralmente com vida útil curta e destinados a serem implantados densamente dentro do fenómeno ou muito próximo a ele. De facto, a densidade de implantação necessária para aquisição de dados mais precisa e de baixo custo apresentada anteriormente, levaria, conseqüentemente, à produção de lixo eletrónico. Esta questão pode ser abordada tecnicamente com a imposição de padrões de produção e distribuição mais restritivas, por exemplo. Todavia, entendemos que as soluções sustentáveis consistirão principalmente em abrir discussões entre as partes interessadas para se criar regulamentações baseadas em consensos. Reportando-nos ao estudo de (Chatterjee et al., 2004), pensamos também que o desenvolvimento de qualquer política deve respeitar os princípios constitucionais e normativos vigentes. Na próxima subsecção, discutiremos os regulamentos oficiais existentes que podem servir para criar outros mais específicos para RSSF utilizadas em espaços públicos.

3.2 Gestão Estrutural de Resíduos Tecnológicos

Sugerimos dois campos principais para os problemas identificados nas RSSF individuais, a saber: gestão do espaço público e lixo eletrónico. Para esses campos, já existem algumas regulamentações viradas para as RSSF. Ainda que as mais avançadas estejam relacionadas com a sua engenharia, como veremos no parágrafo a seguir, podemos considerar que as RSSF estão implicitamente regidas por regras relativas à gestão do espaço público, à proteção dos direitos de informação pessoal e aos resíduos eletrónicos perigosos.

Na tecnologia WSN, a comunicação entre os nós é feita em meio sem fio formado por rádio, infravermelho ou meios óticos. Uma opção para as ligações de rádio é o uso de um espectro chamado banda ISM (para Industrial, Científico e Médico). Embora a banda ISM ofereça comunicações livres de licença na maioria dos países, fabricantes e autoridades políticas impõem limitações ao poder de emissão e à área de cobertura da RSSF. Nos grandes mercados económicos, temos regulamentações que de certo modo cobrem a questão das RSSF mas não na perspetiva do risco de abandono em massa dos seus componentes pelas razões evocadas em 3.1, em economias, como a de Angola, com uma empregabilidade sustentada a quase 80%² pelo circuito informal. A União Europeia dispõe da Diretiva de Equipamentos de Rádio 2014/53³, nos EUA temos o *CFR Title 47 Part 18*⁴ e no Japão temos a *Radio Law*⁵.

Os governos locais sempre regularam a vida urbana por meio da aplicação de leis. Todavia, os (Moroni & Chiodelli, 2014) relatam que os estudos sobre as relações entre as regras locais e o espaço surgiram apenas em meados da década de 1990 para conter os casos de desordem nas ruas. Como as RSSF individuais no espaço público usam instalações comuns para fins pessoais,

² <https://prei.ao/informalidade/>, acessado a 27/11/2022

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0053&from=NL>, acessado a 27/11/2022

⁴ <https://www.ecfr.gov/current/title-47/chapter-I/subchapter-A/part-18>, , acessado a 27/11/2022

⁵ https://www.jqa.jp/english/safety/file/guide_radio.pdf, acessado a 27/11/2022

elas seriam implicitamente reguladas pelas leis existentes tanto em nível local quanto nacional. Por outro lado, as RSSF são componentes essenciais do conceito de gestão de cidades inteligentes. Para não comprometer a confiança das cidades inteligentes, certificações e políticas apoiam os sistemas de comunicação (Bartoli & Hern, 2012). Os benefícios de desenvolver RSSF individuais no espaço público serviria, em Angola, como um eixo de modernização da economia informal.

As oportunidades são infinitas e exigem que os governos nacional e locais criem regulamentos para garantir uma cibercidadania económica sustentável, proteger a inovação, melhorar sua eficiência e aproveitá-la ao máximo para uma gestão mais inteligente do espaço público em benefício de todas as partes envolvidas. Para tal, sugerimos duas pistas de solução:

- 1) A implementação de uma rede nacional pública de Sensoriamento como Serviço (SEaaS) (Perera et al., 2014), como o que foi proposto pela *The Things Network*⁶. Tratar-se-ia de um ecossistema global de suporte a IoT com a integração de várias tecnologias de acesso sem fios de baixo consumo (*LPWANs -Low-Power Wide-Area Network*).

Do ponto de vista dos consumidores, o conceito de SEaaS é um método de obtenção de dados de sensores sem que estes possuam uma infraestrutura sob sua gestão. O SEaaS é uma solução equilibrada, pois regula os nós sobre a implantação em espaços públicos. Assim, como confirmado nos experimentos realizados por (Giorgetti et al., 2016), uma rede densa e com boa conectividade pode reduzir os procedimentos de recuperação de falhas e garantir maior tempo de vida das RSSF.

As tecnologias de acesso de baixo consumo operam em bandas licenciadas e não licenciadas. Por exemplo, *LoRaWAN*, *Sigfox* e *NB-IoT* são tecnologias vitais amplamente implantadas. Uma comparação genérica das três redes e as redes convencionais é mostrada na Tabela 1. A sinergia entre a IoT e a tecnologia LoRa tem impulsionado o desenvolvimento de aplicações e conectividade de longo alcance entre dispositivos e são aplicados em várias áreas como: Monitoramento de ecossistemas verdes, medição inteligente, saúde e cidades Inteligentes (Seneviratne, 2019).

Tabela 1

Comparação de *Sigfox*, *NB-IoT*, *LoRaWAN* e redes convencionais

	Sigfox	NB-IoT	LoRaWAN	Wi-fi	ZigBee	Bluetooth
Padrões	Sigfox	3GPP	LoRa Alliance	IEEE 802.11	IEEE 802.15.4	Bluetooth SIG
Frequências	ISM:433 MHz, 868 MHz, 915 MHz	Licenciado pela LTE	ISM: 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz	ISM: 2.4 GHz, 5 GHz	ISM: 868 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz
Coberturas	10-40 km	2-20 km	1 - 15 km	10 - 100 m	10 - 100 m	10 - 100 m
Taxas máxima de dados	100 bps	200 kbps	50 kbps	Gbps	250 kbs e 2.4 GHz	2 Mbps
Implantações Privadas	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: (Mekki et al., 2019)

- 2) Proceder ao registo obrigatório de todos nós sensores no espaço nacional, à imagem do que se faz com os cartões de telefones móveis. Este mecanismo permite às autoridades regular os resíduos perigosos, dotando-se da possibilidade de identificarem os proprietários de resíduos tecnológicos abandonados.

4 CONCLUSÃO

A utilização das tecnologias digitais na Economia Circular é relevante, pois busca-se adaptar práticas tecnológicas alinhadas aos métodos de Economia Circular através do conceito de IoT. Ora, há um risco de proliferação dos componentes tecnológicos necessários para suportar uma economia de precisão massificada. Regulamentar uma tecnologia popular é uma forma de promover

⁶ <https://www.thethingsnetwork.org/>, acesso a 14/12/2022

o seu desenvolvimento sustentável dentro de um bem comum que é o espaço público. A ideia por trás das políticas que apresentamos aproxima-se das abordagens adotadas para os veículos automóveis que circulam em locais públicos. Qualquer cidadão tem o direito de conduzir um automóvel desde que respeite as normas relativas à segurança rodoviária, tais como: ser titular de carta de condução válida e ter a viatura matriculada. Ademais, para se evitar congestionamentos nas estradas e regular as emissões de CO₂, as autoridades promovem o uso do transporte público.

É neste contexto que propomos duas soluções, a saber: implementação de uma infraestrutura pública de sensoriamento e registo das RSSF. Estas abordagens abrem novos desafios legais, tecnológicos, comerciais e logísticos para o mercado angolano, que podem ser abordados em trabalhos futuros. Por exemplo, a legalização das operadoras do serviço público de sensoriamento; a monetização do uso da infraestrutura consoante o perfil de negócio dos utentes; a complexidade do registo dos nós sensores miniaturizados, que podem não ser detetados em bagagens pessoais à entrada do território nacional.

5 REFERÊNCIAS

- Bartoli, a., & Hern, J. (2012). On the Ineffectiveness of Today ' s Privacy Regulations for Secure Smart City Networks. *Proceedings of Third IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm 2012)*, 1–6.
- Brous, P., Janssen, M., & Herder, P. (2020). The dual effects of the Internet of Things (IoT): A systematic review of the benefits and risks of IoT adoption by organizations. *International Journal of Information Management*, 51, 101952. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.008>
- Carlos, R. L., & de Mattos, C. A. (2021). O impacto da Internet das Coisas como facilitadora para práticas de Economia Circular. *XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção “Contribuições Da Engenharia de Produção Para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis.”*
- Chatterjee, S., Feng, M., Keegan, B., Ma, S., & Wang, J. (2004). *Sensors in Public Spaces: The Law and Technology of Anonymity*. <http://groups.csail.mit.edu/mac/classes/6.805/student-papers/fall04-papers/sensors.pdf>
- Giorgetti, A., Member, S., Lucchi, M., Tavelli, E., Barla, M., Gigli, G., Casagli, N., Chiani, M., Dardari, D., & Member, S. (2016). A Robust Wireless Sensor Network for Landslide Risk Analysis : System Design , Deployment , and Field Testing. *IEEE Sensors Journal*, 16(16), 6374–6386. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2579263>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Lima, P. de M., Olivo, F., Furlan, M. B., Justi Junior, J., & Paulo, P. L. (2022). Análise de custos do planejamento estratégico do sistema integrado de resíduos sólidos urbanos em Campo Grande/MS. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(4), 749–759. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220210216>
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005>
- Moroni, S., & Chiodelli, F. (2014). Municipal regulations and the use of public space: local ordinances in Italy. *City, Territory and Architecture*, 1(1), 11. <https://doi.org/10.1186/2195-2701-1-11>
- Oteafy, S. M. A., & Hassanein, H. (2016). Resilient IoT Architectures over Dynamic Sensor Networks with Adaptive Components. *IEEE Internet of Things Journal*, XX(X), 1–1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2621998>
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., & Georgakopoulos, D. (2014). Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1), 81–93. <https://doi.org/10.1002/ett.2704>
- Perlmutter, M., & Breit, S. (2016). The future of the MEMS inertial sensor performance, design and manufacturing. *2016 DGON Inertial Sensors and Systems (ISS)*, 1–12. <https://doi.org/10.1109/InertialSensors.2016.7745671>
- Robinson, B. H. (2009). E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, The, 408, 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.09.044>

- Sanchez, O. T., Fernandes, J. M., Rodrigues, A., Silva, J. S., Boavida, F., Rivadeneira, J. E., de Lemos, A. V., & Raposo, D. (2022). Green Bear - A LoRaWAN-based Human-in-the-Loop case-study for sustainable cities. *Pervasive and Mobile Computing*, 87, 101701. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101701>
- Seneviratne, P. (2019). Introduction to LoRa and LoRaWAN. In *Beginning LoRa Radio Networks with Arduino*. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4357-2_1
- Silva, J. S., Silva, R. M., & Boavida, F. (2016). *Redes de Sensores sem Fios* (FCA (ed.); 1st ed.). 978-972-722-830-0. <http://www.fca.pt/pt/catalogo/informatica/redes-comunicacoes/redes-de-sensores-sem-fios/>
- Statista GmbH. (2022). *Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2021, with forecasts from 2022 to 2030*. Statista GmbH. <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292–2330. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2008.04.002>