



Indústria 4.0 e Sustentabilidade: Uma Aplicação da Internet das Coisas (IoT) na Proteção Ambiental

Industry 4.0 and Sustainability: An Internet of Things Application for Environmental Protection

Aline Gabriela Ferrari, Mestranda em Engenharia de Produção, UNESP, Bauru - SP.

aline.ferrari@unesp.br

Alessa Berretini, Doutoranda em Engenharia de Produção, UNESP, Bauru - SP.

alessa.berretini@unesp.br

Rosane Aparecida Gomes Battistelle, Prof.^a Dra. em Engenharia de Produção, UNESP, Bauru - SP.

rosane.battistelle@unesp.br

José Alcides Gobbo Junior, Prof. Dr. em Engenharia Civil e Ambiental, UNESP, Bauru - SP.

jose.gobbo@unesp.br

Resumo

O objetivo deste artigo é identificar artigos de pesquisa que tratam da sinergia entre Indústria 4.0 e sustentabilidade, mais especificamente estuda as relações entre a Internet das Coisas (IoT) e proteção ambiental. Para isso, uma revisão sistemática da literatura foi conduzida, compreendendo análise qualitativa e de rede de palavras-chave. Os principais resultados obtidos mostram diversos fatores que justificam a sinergia entre Internet das Coisas e proteção ambiental, como a redução nos custos de monitoramento, análise em tempo real e análise online dos dados, permitindo que os tomadores de decisão possam responder às informações monitoradas em tempo hábil e melhorar a restauração ecológica, a proteção ambiental e a implementação de políticas. Além disso, a IoT garante eficiência nos processos, pois há um uso mínimo de recursos, materiais e energia podendo fornecer indicadores significativos para as políticas de saúde humana e ambientais.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Indústria 4.0; Sustentabilidade; Proteção Ambiental; Revisão Sistemática.



Abstract

The purpose of this article is to identify research articles that deal with the synergy between Industry 4.0 and sustainability, more specifically the relationship between Internet of Things (IoT) and environmental protection. For this, a systematic review of the literature was conducted, comprising qualitative and network analysis of keywords. The main results obtained show several factors that justify the synergy between Internet of Things and environmental protection, such as the reduction in monitoring costs, real-time analysis and online data analysis, allowing decision makers to respond to the monitored information in time and improve ecological restoration, environmental protection and policy implementation. In addition, IoT guarantees efficiency in processes, because there is a minimum use of resources, materials and energy and it can provide significant indicators for human and environmental health policies.

Keywords: *Internet of Things; Industry 4.0; Sustainability; Environmental Protection; Systematic review.*



1. Introdução

Os conceitos de “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável” encontraram um lugar em muitas agendas políticas locais (Opp e Saunders, 2013). Cada vez mais as empresas têm passado a incorporar práticas de sustentabilidade com o objetivo de aumentar sua responsabilidade ambiental e social (Landrum, 2018).

A Indústria 4.0 é um conceito emergente que engloba tecnologias como a Internet das Coisas, big data, sistemas ciberfísicos e objetos inteligentes (Junior et al., 2018), e tem sido considerada uma das principais tendências em sistemas de produção, com claras implicações para a sustentabilidade nas organizações (Jabbour et al., 2018a). De Sousa Jabbour et al. (2019) e de Sousa Jabbour et al. (2018a, 2018b) realizaram os primeiros estudos a respeito da integração entre Indústria 4.0 e produção sustentável.

Jabbour et al. (2019) destacam que novas tecnologias rotuladas como “Indústria 4.0”, como a Internet das Coisas e manufatura aditiva, são fundamentais para atender às necessidades de empresas e clientes mais inclinados a escolhas mais verdes. A disponibilidade dessas novas tecnologias têm motivado as empresas em direção aos princípios de EC, porque tais tecnologias permitem que as empresas rastreiem mais facilmente seus impactos ambientais e resíduos, contribuindo para o desempenho de sustentabilidade das empresas.

Nesse sentido, a Internet das Coisas (IoT) surgiu como um novo paradigma para o futuro da Internet, abrindo caminho para dispositivos que podem se comunicar juntos, e isso fez com que estudos sobre os usos potenciais da IoT se tornassem uma área de pesquisa em alta (Raja et al., 2018). Entretanto, ainda existem poucos trabalhos que mostram a sinergia entre os conceitos de IoT e proteção ambiental.

Diante disso, o objetivo deste artigo é identificar na literatura artigos que tratam da relação entre a IoT e a proteção ambiental, sintetizando os principais achados a respeito da sinergia entre os conceitos. Para isso, uma revisão sistemática de literatura foi conduzida, fornecendo *insights* a respeito da integração entre os temas.

2. Fundamentação teórica

O tópico em questão apresenta uma síntese bibliográfica dos conceitos de Indústria 4.0, Internet das Coisas, Sustentabilidade e Proteção Ambiental.

2.1 Indústria 4.0 e Internet das Coisas (IoT)

Com o advento da tecnologia e da informação, novos paradigmas de gerenciamento foram criados através da adoção de novas tecnologias. Assim, a indústria 4.0 é caracterizada por informações modernizadas e tecnologias de comunicação, onde produtos, máquinas e processos podem se interconectar, permitindo o estabelecimento do conceito de “fábrica inteligente” (ROSSINI, et al., 2019).



Segundo Sony (2018), a indústria 4.0 está associada ao início da quarta revolução industrial. Isto descreve a tendência recente em tecnologias de automação que está ganhando popularidade nas indústrias de manufatura, sendo que as principais tecnologias que permitem o pensamento revolucionário na fabricação são CPS (Cyber Physical Systems), IoT (Internet of Things) e Cloud computing.

A indústria 4.0 influencia significativamente o ambiente de produção com mudanças radicais na execução de operações. Ao contrário do planejamento de produção convencional baseado em previsões, a indústria 4.0 permite em tempo real o planejamento de planos de produção, juntamente com uma auto-otimização dinâmica (SANDERS et al., 2016).

Para Diez, Zheng, Molina (2019), os líderes da indústria 4.0 tomam decisões em um ambiente em constante mudança e para escolher entre os resultados de valor de suas ações, eles precisam estar cientes de que a tomada de decisões requer três características principais: autocontrole, memória ativa de trabalho e modulação adaptativa deste sinal de valor.

A indústria 4.0 está baseada em alguns pilares tecnológicos, como por exemplo, o big data que tem a capacidade de coletar, organizar e analisar enormes quantidades de dados; os robôs autônomos, que na indústria 4.0 tem a capacidade de trabalhar sem a supervisão humana; a internet das coisas, que através de sensores pode conectar todas as coisas na internet; a cibersegurança, que ajuda a proteger os dados de ameaças cibernéticas; a computação em nuvem, que na indústria 4.0 é otimizada pelo aumento da capacidade e velocidade de processamento; manufatura aditiva, também chamada de impressão 3D, utilizada para a produção de protótipos; e a realidade aumentada, que permite a interação entre o mundo real e virtual (FARIA et al., 2019).

De acordo com o entendimento de Magomadov (2020), a Internet das Coisas Industrial (IIoT) é uma das tecnologias mais importantes oferecido pela quarta revolução industrial. Este fenômeno é uma tecnologia promissora que é capaz de transformar de forma significativa os segmentos industriais. O objetivo da IIoT é mudar as indústrias por meio de dispositivos de computação inter-relacionados e sensores. Isso torna possível incorporar análises preditivas e inteligência artificial (IA) na fabricação.

Internet das Coisas é uma inovação tecnológica, baseada em artefatos já consolidados como a Internet e objetos inteligentes. A crescente aplicação da Internet das Coisas nos negócios torna necessária uma avaliação de estratégias, benefícios e dificuldades enfrentadas na aplicação da tecnologia (GALEGALE et al., 2016). Muitas empresas hoje em dia estão lutando para entender a complexidade sem precedentes do desenvolvimento modelos de negócios para produtos e serviços baseados na Internet das Coisas (KLEIN et al., 2017).

A IIoT é vital quando se trata da Indústria 4.0, ou seja, desempenha um papel importante na transformação de processos de manufatura e sistemas ciber-físicos. Sensores que fornecem dados em tempo real e outras fontes de dados são de grande valor para infra estruturas e ferramentas industriais, pois tornam o processo de tomada de decisão mais rápido e eficiente (MAGOMADOV, 2020).

De acordo com Al-Fuqaha et al. (2015), a IIoT permite que objetos físicos vejam, ouçam, pensem e realizem trabalhos fazendo com que eles “conversem” entre si,



compartilhem informações e coordenam decisões. A IoT transforma esses objetos de tradicionais em inteligentes, explorando suas tecnologias subjacentes, como computação ubíqua e difusa, dispositivos incorporados, tecnologias de comunicação, redes de sensores, protocolos e aplicativos da Internet.

A IoT não é resultado de uma única tecnologia, mas sim a combinação de várias tecnologias complementares que fornecem recursos e ajudam a preencher a lacuna do mundo físico do virtual. Entre elas estão: comunicação e cooperação; endereçabilidade; identificação; sensor de contexto; monitoramento; atuação; processamento de informação; localização e interface com o usuário (Klein et al., 2017).

2.2 Sustentabilidade e proteção ambiental

A maioria das definições do conceito de sustentabilidade direciona a atenção para a relação entre os humanos e os recursos que eles usam (Voinov, 2008). Wimberley (1993, p. 1) afirma que “ser sustentável é fornecer alimentos, fibras e outros recursos naturais e sociais necessários para a sobrevivência de um grupo e contribuir de forma a manter os recursos essenciais para as gerações presentes e futuras”. Isso está muito de acordo com a definição amplamente usada da Comissão Brundtland, que definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras de acordo com suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Embora mais de 100 definições de sustentabilidade tenham sido apresentadas, a maioria dos estudiosos que trabalham na área concorda que a sustentabilidade destaca a necessidade de equilibrar simultaneamente os objetivos sociais, ambientais e econômicos (Aarseth et al., 2017), três dimensões inter-relacionadas importantes para a busca e eventual sucesso de um futuro sustentável: Proteção Ambiental, Crescimento Econômico e Progresso Social ou Equidade (Opp e Saunders, 2013).

Em um sentido muito amplo, a dimensão ambiental está preocupada com os recursos naturais e ecossistemas do mundo; a dimensão econômica refere-se à riqueza e recursos financeiros em termos de produção e consumo de bens e serviços; e a dimensão da equidade social trata do respeito aos direitos humanos básicos, saúde, paz, segurança e educação (UNESCO, 2004). Boström (2012) observou ainda que “as relações entre essas dimensões são geralmente consideradas compatíveis e de suporte mútuo”. Nesse sentido, é importante citar os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), uma estratégia interligada para a promoção de práticas e soluções sustentáveis que contemplam os principais problemas enfrentados pela nossa sociedade. De acordo com Dantas et al. (2020), a Economia Circular e a Indústria 4.0 são dois tópicos com grande potencial para auxiliar na implementação de mudanças sistemáticas e contribuir para o alcance dos ODS.

Hoje, o crescimento populacional e o desenvolvimento urbano levaram ao aumento das emissões de gases de estufa, redução da biodiversidade e outras ameaças a recursos naturais vitais como água doce, solo, florestas e pântanos, exigindo um novo diálogo sobre ciência e meio ambiente, de forma que a ciência possa contribuir da melhor maneira para a solução destes impactos ambientais (Fiksel et al., 2009).



A ciência da sustentabilidade sugere que a proteção ambiental eficaz requer uma abordagem de sistemas integrados, pois tornou-se claro que os problemas do novo século são mais complexos e requerem novos tipos de pensamento interdisciplinar e soluções de sistemas (Fiksel et al., 2009).

2.3 Internet das Coisas em processos ambientais

A OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) reconhece a IoT como um novo motor de crescimento que pode promover a inovação da informação e comunicação e de outros setores que trarão um novo valor agregado. Em uma sociedade em que todas as coisas estão conectadas à Internet, adicionar funções de comunicação a todas as coisas, como casas, carros, relógios e câmeras, conecta novos valores (Kang et al., 2015).

A IoT permite que os dispositivos detectem situações circundantes e executem certos movimentos conectando-os por meio de vários protocolos de Internet. Além disso, os dispositivos conectados compartilham informações para coordenar as decisões e fornecer serviços e formulários, como saúde, resposta a emergências, detecção de desastres e automação residencial (Choi et al., 2016).

Um exemplo de aplicação da IoT são as “luzes de rua inteligentes”, energeticamente eficientes e que contribuem para a redução do consumo de energia. Este sistema funciona através de sensores que monitoram continuamente a intensidade da luz e enviam os dados para um dispositivo que liga e desliga as luzes nos momentos necessários. As luzes operam com base nas condições ambientais associadas ao dispositivo IoT. Se houver algum problema, as informações e a localização do dispositivo são enviadas ao dispositivo para recuperação e, em seguida, recuperarão sua funcionalidade normal (Ramaiah et al., 2018).

A interação entre TI e agricultura tem criado novos rumos também para a agricultura (Liu et al., 2019), reduzindo efetivamente as perdas dos agricultores. Empresas de países como os Estados Unidos têm investido em pesquisa e desenvolvimento (P&D) da tecnologia IoT para incorporar inteligência e sensores em seus produtos. Os benefícios da aplicação da IoT agrícola inclui a redução do custo dos recursos humanos nas atividades de produção e os impactos negativos sobre o meio ambiente, e a melhoria do acesso dos agricultores a um ambiente preciso de terras agrícolas e informações sobre a cultura, pois seus sensores oferecem uma maneira simples e de baixo custo de coletar, em tempo real, condições meteorológicas, intensidade da luz e umidade do solo de um campo (Ramaiah et al., 2018). Estes dados são monitorados por meio desses sensores que são conectados a um sistema para alertar o processo, como ar e água. Com esses sensores, os agricultores reúnem informações sobre solo, clima, valor do ar e maturação da safra para tomar melhores decisões (Ramaiah et al., 2018).

3. Método de pesquisa



Para a condução deste estudo, foi adotada a abordagem qualitativa, utilizando como método de pesquisa a revisão sistemática de literatura, conforme ilustra a Figura 1.

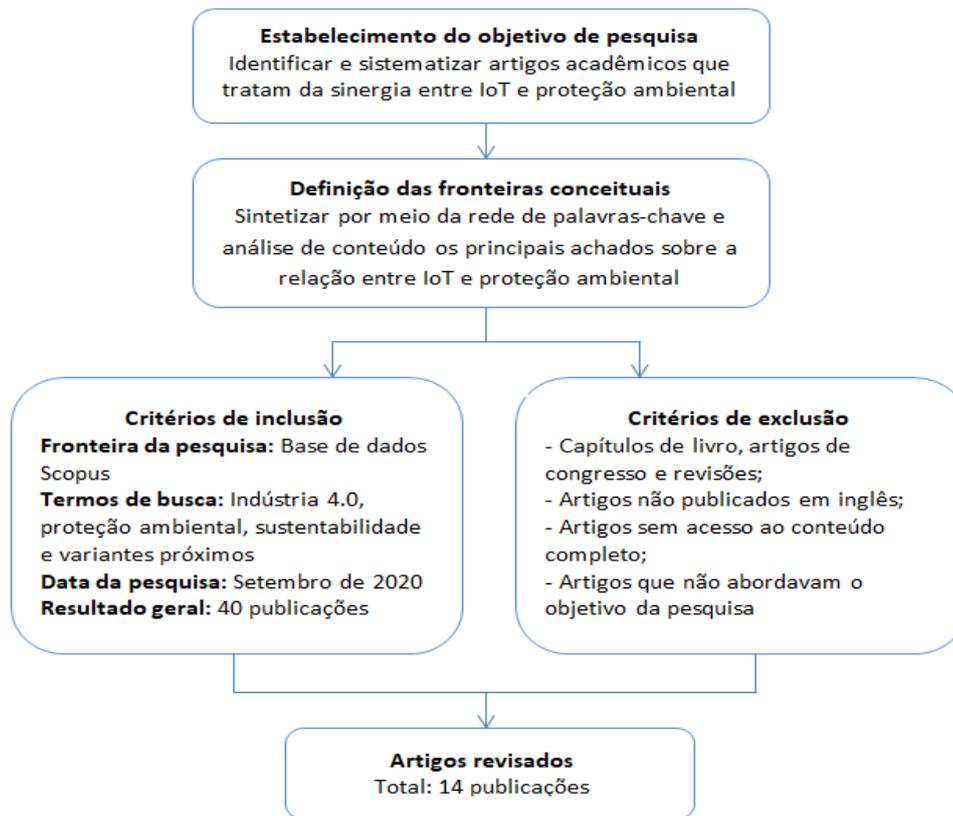


Figura 1: Procedimentos para a seleção dos artigos. Fonte: Adaptado de Lu et al. (2018).

Primeiramente, foram definidos os termos relevantes para a busca inicial na base de dados Scopus, a qual se mostra respeitada internacionalmente, auxiliando pesquisadores a acessarem a literatura existente em variadas áreas (Harzing e Alakangas, 2016). A Figura 2 retrata a combinação dos termos utilizando o padrão “título, resumo, palavras-chave”.

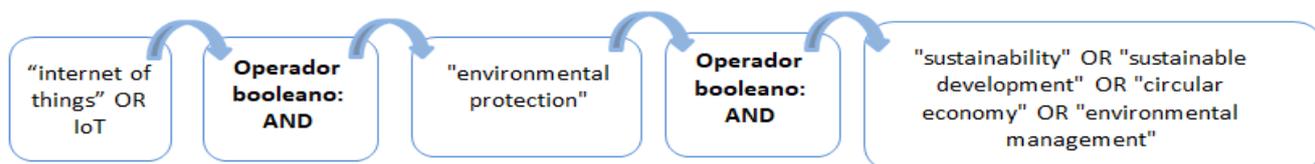


Figura 2: Padrão de busca. Fonte: elaborada pelos autores.

Dessa forma, a busca inicial realizada em setembro de 2020 resultou em 40 publicações. Na sequência, foram aplicados os critérios de exclusão, eliminando-se os capítulos de livro, artigos de congresso, artigos não publicados em inglês e ainda aqueles com o acesso restrito. Nota-se que não foi aplicada limitação quanto ao ano de publicação. Com isso, a amostra foi reduzida para 14 artigos, cujas análises são apresentadas na próxima seção, juntamente à rede de coocorrência de palavras-chave gerada pelo software VosViewer.



Segundo Van Eck e Waltman (2013), essa rede permite identificar facilmente os grupos de palavras-chave que estão mais fortemente relacionadas por meio dos chamados clusters. Cada cluster é representado por uma cor diferente e as palavras-chave são representadas por círculos, cujos tamanhos indicam a frequência com que aparecem na amostra (Van Eck e Waltman, 2013).

4. Apresentação dos resultados e discussões

A Figura 3, gerada com a utilização do software VosViewer, ilustra a rede de coocorrência de palavras-chave dos 14 artigos analisados. É possível observar que foram gerados três clusters, ou seja, três agrupamentos de palavras-chave diferenciados pelas cores vermelho, azul e verde.

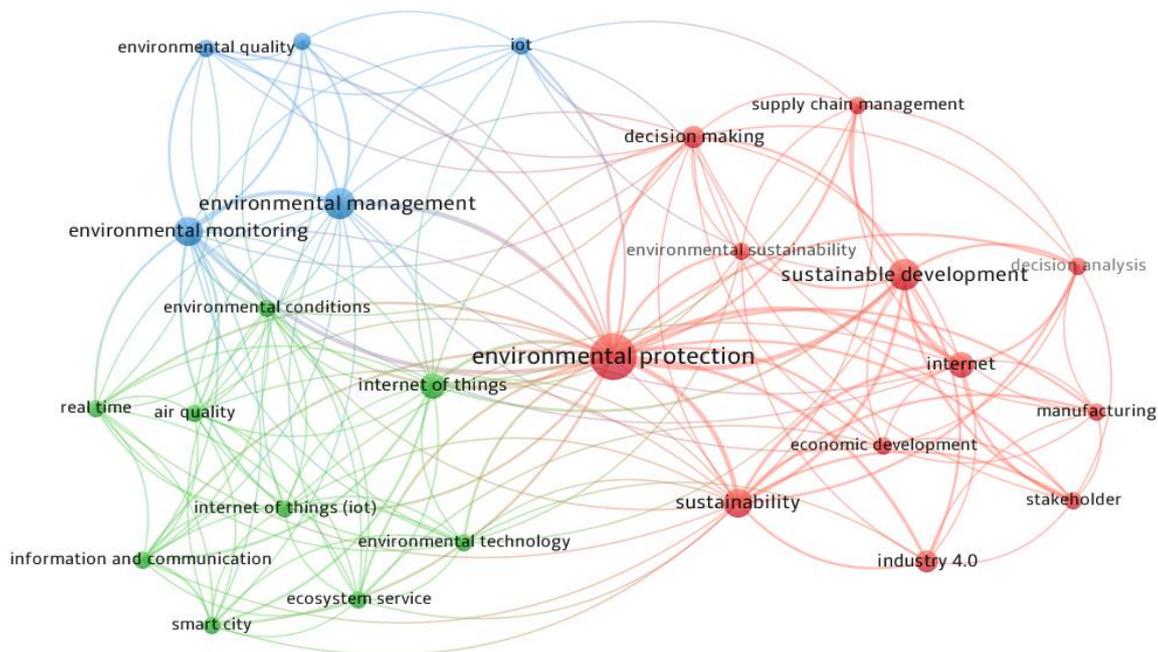


Figura 3: Rede de coocorrência de palavras-chave. Fonte: elaborada pelos autores.

No *cluster* vermelho, estão agrupadas as palavras-chave proteção ambiental (*environmental protection*), sustentabilidade (*sustainability*) e desenvolvimento sustentável (*sustainable development*). Neste *cluster*, o trabalho de Tu et al. (2017) mostra que a IoT é um meio de comunicação eficaz para propaganda e divulgação, mostrando-se importante para promover os conceitos de proteção do meio ambiente com marketing verde por meio da IoT. O artigo mostra que as empresas estão utilizando a IoT para transferir mensagens verdes de forma eficaz e atraente para mais consumidores, buscando deixá-los satisfeitos com as formas ecológicas de fazer compras. Tu et al. (2017) enfatizam a importância que as empresas relacionadas ao marketing verde façam bom uso de sua própria tecnologia



profissional por meio da IoT e combinem com inovações integradas para promover seus produtos relacionados ao meio ambiente.

O trabalho de Oláh et al. (2020), que também se enquadra no *cluster* vermelho, teve como objetivo a representação da Indústria 4.0 e suas tecnologias integradas com objetivos de desenvolvimento sustentável para criar uma Indústria 4.0 sustentável combinando proteção ambiental e sustentabilidade. Os autores concluem que a integração da Indústria 4.0 e os objetivos de desenvolvimento sustentável aumentam a sustentabilidade ambiental para criar um suporte ecológico que garante um alto desempenho ambiental com um impacto mais positivo do que antes. A Indústria 4.0 gera mais eficiência em processos, à medida que há um uso mínimo de recursos, materiais e energia. Isso ocorre porque a produção só é feita sob demanda e na quantidade certa, pois os departamentos são sincronizados entre si e a comunicação ocorre por meio de robôs usados para coletar dados.

O último trabalho do *cluster* vermelho, de Zhão et al. (2020), teve como foco central o aspecto ambiental na redução da poluição e da reciclagem de recursos pela operação portuária. O desenvolvimento sustentável está desafiando portos em todo o mundo a avaliarem os impactos de suas operações atuais e encontrarem maneiras de melhorar a economia e o meio ambiente. A dimensão social enfatiza relações equilibradas e sustentadas com as partes interessadas do porto. Já o porto inteligente está relacionado à melhoria da produtividade e eficiência portuária por meio da adoção um sistema automatizado que usa tecnologias, incluindo a IoT, big data e automação.

No *cluster* azul, ao qual pertencem as palavras-chave gestão ambiental (*environmental management*), monitoramento ambiental (*environmental monitoring*) e qualidade ambiental (*environmental quality*), pode-se enquadrar o trabalho de Zhu et al. (2017), que mostra a aplicação da IoT no monitoramento em tempo real de fatores ambientais usando automação e tecnologia da informação para obter uma gestão ambiental baseada na ciência. Zhu et al. (2017) mostram que, para bases de energia em grande escala, a IoT ambiental pode ajudar a realizar a normalização do monitoramento ambiental e facilitar uma resposta imediata a eventos de emergência, e que observações contínuas são benéficas para a análise de mudanças ambientais de longo prazo, mas que o modelo pode ser estendido a todo o campo ambiental. Dessa forma, o compartilhamento de dados ambientais e modelos de análise ambiental podem ser alcançados para aplicações com condições favoráveis, para melhorar a eficiência geral da pesquisa em ciências ambientais.

Um segundo trabalho pertencente ao *cluster* azul foi o realizado por Wu et al. (2016). Estes autores abordaram as funções ambientais e ecológicas do Grande Canal da China que foram severamente danificadas ao longo dos anos. Com a implementação das estratégias para a promoção ecológica, a restauração do meio ambiente, ecossistemas e funções socioeconômicas tornou-se tarefa urgente para a segurança ecológica nacional e o desenvolvimento regional. Usando métodos de restauração ecológica e planejamento de medidas estratégicas, foram propostas algumas melhorias incluindo a construção do corredor ecológico aquático; restauração do ecossistema ribeirinho e pantanoso; regulação do microclima ambiental; proteção da biodiversidade; e quadro de gestão ambiental através do suporte da Internet das Coisas (IOT).

Por fim, no *cluster* verde estão presentes os termos relacionados à internet das coisas (*internet of things*), tecnologia ambiental (*environmental technology*) e serviços



ecossistêmicos (*ecosystem service*). Neste *cluster*, Shan et al. (2017) mostram a importância de que sejam monitoradas as condições ecológicas e ambientais com vários métodos técnicos. No entanto, os sistemas de monitoramento atuais apresentam grandes problemas operacionais, incluindo baixos níveis de automação, altos custos operacionais e cobertura espacial e temporal ineficiente. Nesse sentido, o desenvolvimento da IoT oferece uma oportunidade para melhorar a eficácia da coleta e análise de dados ambientais. A pesquisa realizada por Shan et al. (2017) apontam alguns benefícios do uso da IoT: usar o monitoramento de ambiente baseado em IoT permite a coleta de dados com alta precisão; o próprio nó de rede de sensores é capaz de processar informações e, portanto, pode realizar monitoramento dinâmico junto com as mudanças no ambiente; o sistema de monitoramento ambiental baseado em IoT melhora a qualidade dos dados, pois elimina automaticamente dados de baixa qualidade ou com erros para a análise de problemas práticos; a IoT ajuda a economizar custos de monitoramento; o sistema pode garantir o custo relativamente baixo para a obtenção de informações ambientais de alta qualidade; o sistema pode realizar a análise em tempo real e a análise online dos dados de monitoramento, para que os tomadores de decisão possam responder às informações monitoradas em tempo hábil e melhorar a restauração ecológica, a proteção ambiental e a implementação de políticas.

Ainda no *cluster* verde, Tsai et al. (2018) apontam que, devido a preocupações ambientais, novas tecnologias de manufatura verdes têm sido amplamente exploradas e aplicadas para melhorar a tecnologia de operação, e propuseram um quadro de planejamento e controle da produção com imposto de carbono por meio matemático na Indústria 4.0 dentro da indústria de pneus. Segundo Zheng et al. (2016), a aplicação da Internet das Coisas Ambientais (EIoT) pode melhorar muito o desempenho e eficácia da gestão ecológica e ambiental. A IoT pode ser usada para monitoramento ambiental e proteção de várias maneiras, como monitorar o comportamento de aves; monitoramento agrícola automatizado e coletas de dados de ruídos no tráfego em estradas. É difícil atender aos requisitos de monitoramento e gerenciamento em tempo real em grandes áreas ou regiões. Portanto, IoT é uma boa escolha para realizar um trabalho ambiental multifatorial de monitoramento a longo prazo.

Para Lu et al. (2016), na era da Internet das Coisas, as telas de painel desempenham um papel importante na vida humana, porque humanos frequentemente usam telas de cristal líquido para monitorar seus dispositivos elétricos. No entanto, todo processo de fabricação inevitavelmente tem efeitos indesejáveis no meio ambiente, além de produzir poluição que pode colocar em perigo o meio ambiente. O consenso comum é que um equilíbrio deve ser estabelecido entre meio ambiente, sociedade e governança. Neste sentido, os autores desenvolveram um estudo de melhoria sustentável mais eficaz utilizando estratégias que podem aumentar as vantagens competitivas em situações do mundo real e assim discutem o uso eficaz dos recursos naturais, o desenvolvimento de empresas, e a vantagem competitiva sustentável neste contexto. O estudo ainda integra com sucesso conceitos de sustentabilidade e vantagem competitiva para formular as estratégias de alocação mais eficazes para os recursos naturais.

Matasov et al. (2020) conduziram um estudo utilizando uma rede de dispositivos de monitoramento sem fio que operam usando a IoT para fornecer monitoramento em tempo real dos serviços do ecossistema regulatório na forma de indicadores significativos para as políticas de saúde humana e ambientais. No estudo, foram quantificados indicadores de



serviços ecossistêmicos relacionados ao clima, qualidade do ar e regulação da água, e chegou-se à conclusão de que é importante usar dados de monitoramento em tempo real para aprofundar o conhecimento dos processos das florestas urbanas. Há uma nova oportunidade de aplicar a tecnologia IoT não apenas para medir a funcionalidade das árvores por meio de fluxos de água e carbono, mas também para estabelecer um sistema operacional de infraestrutura verde urbana inteligente para gerenciamento. Ter dados de árvores em tempo real e individuais pode melhorar as previsões e planejamento de infraestrutura verde urbana.

Nos estudos de Tozanli et al. (2020), a crescente consciência ambiental e o alargamento da responsabilidade do produtor aumentaram a necessidade de estratégias econômicas de negócios sustentáveis do ponto de vista ambiental e social. Como tentativa de aumentar as vendas, garantindo a sustentabilidade ambiental dos produtos, programas de troca que incentivam estimular os consumidores a trocar bens usados por produtos de tecnologia tornou-se uma estratégia de agregação de valor para os negócios. No entanto, devido à alta imprevisibilidade na qualidade dos dispositivos devolvidos, determinar as margens de troca é uma tarefa desafiadora para fabricantes de equipamentos. Por isso, os autores propuseram o uso de produtos integrados à IoT em um sistema de desmontagem sob encomenda habilitado para blockchain para determinar o trade-in ideal de atualização. Um modelo de simulação de evento discreto foi desenvolvido para obter o custo esperado da desmontagem sob encomenda.

Para Zhang et al. (2019), a gestão de resíduos requer a busca pelos princípios da economia circular, mas, ao contrário disso, muitas economias estão produzindo cada vez mais resíduos, o que representa um sério desafio à sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, tecnologias como a IoT podem catalisar e apoiar a transformação da gestão de resíduos em busca da economia circular. No entanto, Zhang et al. (2019) apontam a existência de barreiras que podem retardar a implementação de uma melhor gestão de recursos residuais, como por exemplo o fato de que tecnologias como a IoT são relativamente novas e suas aplicações ainda estão sendo iniciadas em algumas organizações, e seu uso levanta vários desafios tecnológicos, como a “dificuldade de integração de tecnologia”, que ocorre quando uma empresa usa várias plataformas de tecnologia que são incompatíveis entre si.

Além disso, para Zhang et al. (2019), muitas organizações, assim como seus líderes, não possuem o conhecimento, experiência e a cultura de inovação necessários para que possam enxergar o potencial para melhorar as operações de gestão de resíduos através da IoT e a importância em destinar recursos econômicos e humanos necessários para o uso da IoT. Os líderes precisam estar comprometidos não apenas com a proteção de recursos para investir na IoT, mas também com a reengenharia de processos de negócios. Além disso, apesar de ser um assunto que tem crescido muito, ainda falta pressão de mercado, regulamentações ambientais e fiscalizações para que as empresas sintam a obrigação de investir em práticas sustentáveis e na IoT para melhorar as operações de gestão de resíduos. Isso se dá devido à falta de educação ambiental e cultura de proteção ambiental da população e também porque muitas empresas simplesmente não conseguem destinar seus recursos financeiros para estes fins (Zhang et al., 2019). Por fim, é importante citar que o retorno da implementação da IoT em processos ambientais só será visto a longo prazo, um obstáculo para organizações que buscam apenas seus interesses econômicos de curto prazo.



O *cluster* verde aborda também o conceito de cidade inteligente (*smart city*), objeto do estudo de Staletić et al. (2020), que analisaram o uso de aplicativos de crowdsourcing em cidades inteligentes e concluíram que a prontidão dos cidadãos para usar serviços baseados em novas tecnologias, como IoT e dispositivos móveis, depende das atitudes e necessidades pessoais, do nível de educação e da idade. Na pesquisa realizada, os cidadãos manifestaram o maior interesse na instalação de carregadores de dispositivos móveis em parques da cidade, a partir de fonte solar, bem como na instalação de iluminação pública solar, a partir de lâmpadas LED. Além disso, os resultados mostram que os cidadãos manifestaram interesse em serviços de proteção ambiental e apoio à utilização de fontes de energia renováveis, mostrando consciência sobre a necessidade de preservação e proteção do meio ambiente.

Também a respeito das cidades inteligentes, Lin et al. (2020) abordam a importância deste conceito em proteger a saúde humana e o meio ambiente, e a participação pública no monitoramento da qualidade do ar, que segundo os autores será o futuro e tendência, especialmente com o desenvolvimento de tais cidades inteligentes. Devido ao rápido desenvolvimento da sociedade industrial moderna, acoplado com o aumento da mudança climática global e a consciência ambiental das pessoas, o problema da poluição do ar tornou-se cada vez mais séria e gradualmente se tornou o foco da atenção das pessoas. Por isso, no âmbito da IoT, existem centenas de equipamentos e sensores portáteis que medem a qualidade do ar.

5. Considerações finais

Este artigo teve como objetivo identificar, na literatura, estudos que tratam da relação entre a IoT e a proteção ambiental, sintetizando os principais achados a respeito da sinergia entre os conceitos. Com a aplicação do método de revisão sistemática de literatura, foram analisados 14 artigos publicados em periódicos, os quais possibilitaram uma visão geral das discussões atuais acerca do tema.

Os resultados mostraram diversos fatores que justificam a sinergia entre internet das coisas e proteção ambiental, primeiramente pelo fato de que a IoT é um importante meio de comunicação para promover o conceito de proteção ambiental e a competitividade das empresas, pois garante mais eficiência em processos à medida que há um uso mínimo de recursos, materiais e energia; auxilia na gestão de resíduos; pode ajudar a realizar a normalização do monitoramento ambiental e facilitar uma resposta imediata a eventos de emergência; e permite a análise de mudanças ambientais de longo prazo. A IoT também pode fornecer indicadores significativos para as políticas de saúde humana e ambientais, estabelecendo um sistema operacional de infraestrutura verde urbana inteligente para melhorar as previsões e planejamento da mesma.

Destacou-se também que a IoT permite a coleta de dados com alta precisão, o monitoramento dinâmico junto com as mudanças no ambiente; a melhora na qualidade dos dados, a redução nos custos de monitoramento, análise em tempo real e análise online dos dados, permitindo que os tomadores de decisão possam responder às informações monitoradas em tempo hábil e melhorar a restauração ecológica, a proteção ambiental e a implementação de políticas.



Entretanto, este trabalho mostrou que existem barreiras que as empresas enfrentam para a adoção da IoT no aspecto ambiental, como a dificuldade que as empresas tem em integrar diversas tecnologias, o fato de as aplicações da IoT ainda serem relativamente recentes no âmbito organizacional, a dificuldade de que os líderes estejam comprometidos e destinem os investimentos e recursos necessários, além da falta de regulamentações ambientais e fiscalizações para que as empresas sintam a obrigação de investir em práticas sustentáveis e na IoT.

Os resultados desta pesquisa se mostram úteis no âmbito acadêmico, para auxiliar pesquisadores, e também no âmbito profissional, fornecendo apoio aos profissionais e gestores que desejam inovar e que são responsáveis por garantir a proteção ao meio ambiente. Como limitações, é possível citar o uso de somente uma base de dados para a busca de artigos, bem como a seleção de determinadas palavras-chave. Propõe-se para pesquisas futuras a inclusão de outras bases para expandir a amostra, além da investigação empírica de como ocorre a sinergia entre os temas estudados.

Referências

- AARSETH, Wenche et al. Project sustainability strategies: A systematic literature review. *International Journal of Project Management*, v. 35, n. 6, p. 1071-1083, 2017.
- AL-FUQAHA, A.; GUIZANI, M.; MOHAMMADI, M.; MOHAMMED, A.; AYYASH, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE communication surveys & tutorials*, vol. 17, no. 4, fourth quarter 2015.
- Boström M. (2012). A missing pillar? Challenges in theorizing and practicing social sustainability: introduction to the special issue. *Sustainability: Science, Practice, &Policy*, 8(1), 3–14.
- CHANG, Hsiaowei Cristina; KELLY, Resa Marie; METZGER, Ellen P. A Qualitative Study of Teachers' Understanding of Sustainability: Education for Sustainable Development (ESD), Dimensions of Sustainability, Environmental Protection. In: *Improving K-12 STEM Education Outcomes through Technological Integration*. IGI Global, 2016. p. 206-234.
- CHOI, Hoan-Suk; KANG, Deok-Hee; RHEE, Woo-Seop. RISE: Role-based internet of things service environment. In: *2016 Eighth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*. IEEE, 2016. p. 520-525.
- DANTAS, T. E. T. et al. How the combination of circular economy and industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption*, 2020.
- DIEZ, J.V.; ZHENG, X.; SCHMIDT, D.; MOLINA, M. Characterization of Industry 4.0 Lean Management Problem-Solving Behavioral Patterns Using EEG Sensors and Deep Learning. *Journal Sensors*, Jun 2019.



DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes et al. When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 132, p. 18-25, 2018a.

DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes et al. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, v. 270, n. 1-2, p. 273-286, 2018b.

FARIA, D.R.; SANTOS, R.A.; SANTOS, K.M.; SPADOTI, D.H. A System to improve the management of 5G and IoT Networks by determining the Mobile Position. *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, Vol. 18, No. 2, June 2019.

FIKSEL, J., Graedel, T., Hecht, A.D., Rejeski, D., Sayler, G.S., Senge, P.M., Swackhamer, D.L., Theis., T.L., 2009. EPA at 40: bringing environmental protection into the 21st century. *Environmental Science and Technology* 43 (23), 8716–8720.

GALEGALE, G.P.; SIQUEIRA, E.; SILVA, C.B.H.; SOUZA, C.A. Internet das coisas aplicada à negócios um estudo bibliométrico. *JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management*. Vol. 13, No. 3, Set/Dez., 2016 pp. 423-438

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta et al. Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 144, p. 546-552, 2019.

JUNIOR, Jose Alcides Gobbo et al. Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 117, p. 372-382, 2018.

AZEVEDO, Dermi. Sarney Convida Igrejas Cristãs para Diálogo sobre o Pacto. *Folha de São Paulo*, São Paulo, 22 out. 1985. *Caderno econômico*, p. 13.

KANG, Y.-M. et al. A study on the Internet of Things (IoT) applications. *International journal of software engineering and its applications*, v. 9, n. 9, p. 117-126, 2015.

KLEIN, Amarolinda.; PACHECO, Fabiana Beal.; RIGHI, Rodrigo da Rosa. Internet of things-based products/services: process and challenges on developing the business models. *Journal of Information Systems and Technology Management – Jistem USP*. Vol. 14, No. 3, Sep/Dec.pp. 439–461, 2017.

LANDRUM, Nancy E. Stages of corporate sustainability: Integrating the strong sustainability worldview. *Organization & Environment*, v. 31, n. 4, p. 287-313, 2018.

MAGOMADOV, V.S. The Industrial Internet of Things as one of the main drivers of Industry 4.0. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2020.

MATASOV, Victor et al. IoT Monitoring of Urban Tree Ecosystem Services: Possibilities and Challenges. *Forests*, v. 11, n. 7, p. 775, 2020.

LIN, Yuan-Chien; CHI, Wan-Ju; LIN, Yong-Qing. The improvement of spatial-temporal resolution of PM_{2.5} estimation based on micro-air quality sensors by using data fusion technique. *Environment International*, v. 134, p. 105305, 2020.

LIU, Shubo et al. Internet of Things monitoring system of modern eco-agriculture based on cloud computing. *IEEE Access*, v. 7, p. 37050-37058, 2019.



LU, Iuan-Yuan et al. Multicriteria decision analysis to develop effective sustainable development strategies for enhancing competitive advantages: Case of the TFT-LCD industry in Taiwan. *Sustainability*, v. 8, n. 7, p. 646, 2016.

OLÁH, Judit et al. Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability. *Sustainability*, v. 12, n. 11, p. 4674, 2020.

OPP, Susan M.; SAUNDERS, Kyle L. Pillar talk: local sustainability initiatives and policies in the United States—finding evidence of the “three E’s”: economic development, environmental protection, and social equity. *Urban Affairs Review*, v. 49, n. 5, p. 678-717, 2013.

RAMAIAH, C. H. et al. Remote monitoring through the tab. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, v. 9, n. 1, p. 490-498, 2018.

RAJA, S. P.; RAJKUMAR, T. Dhiliphan; RAJ, Vivek Pandiya. Internet of things: Challenges, issues and applications. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, v. 27, n. 12, p. 1830007, 2018.

ROSSINI, MATTEO.; COSTA, FEDERICA.; TORTORELLA, G.; STAUDACHER, ALBERTO. The interrelation between Industry 4.0 and lean production: an empirical study on European manufacturers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2019.

SANDERS, ADAM; ELANGESWARAN, CHOLA; WULFSBERG, JENS P. Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, Barcelona, Vol. 9, Iss. 3, pp. 811-833, 2016.

SHAN, Peng; WANG, Chenxing; DENG, Hongbing. Technical systems of ecological and environmental monitoring associated with large-scale coal-fired power plants: case study in Xilingol, Inner Mongolia. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 24, n. 5, p. 444-449, 2017.

SONY, MICHAEL. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*. Vol. 6, No. 1, 416-432p, 2018.

STALETIĆ, Nada et al. Citizens' readiness to crowdsource smart city services: A developing country perspective. *Cities*, v. 107, p. 102883, 2020.

TOZANLI, Özden; KONGAR, Elif; GUPTA, Surendra M. Trade-in-to-upgrade as a marketing strategy in disassembly-to-order systems at the edge of blockchain technology. *International Journal of Production Research*, p. 1-18, 2020.

TSAI, Wen-Hsien; LU, Yin-Hwa. A framework of production planning and control with carbon tax under industry 4.0. *Sustainability*, v. 10, n. 9, p. 3221, 2018.

TU, Jui-Che; CHEN, Yu-Yin; CHEN, Shih-Chung. The study of consumer green education via the internet of things with green marketing. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 13, n. 9, p. 6133-6145, 2017.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) . (2004). United Nations decade of education for sustainable development: Draft international



implementation scheme. New York: United Nations Education, Scientific, and Cultural Organization.

VOINOV, Alexey. Understanding and communicating sustainability: global versus regional perspectives. *Environment, Development and Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 487-501, 2008.

WCED, W. C. o. E. a. D, 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford; New York.

WIMBERLEY, Ronald C. Policy Perspectives on Social, Agricultural, and Rural Sustainability 1. *Rural Sociology*, v. 58, n. 1, p. 1-29, 1993.

WU, Di et al. Strategic measures for rapid restoration of Xianghe Segment of China's Grand Canal. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 23, n. 4, p. 358-364, 2016.

ZHANG, Abraham et al. Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 240, p. 118198, 2019.

ZHENG, Rubin et al. An EIoT system designed for ecological and environmental management of the Xianghe Segment of China's Grand Canal. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 23, n. 4, p. 372-380, 2016.

ZHAO, Daozhi; WANG, Tianyi; HAN, Hongshuai. Approach towards Sustainable and Smart Coal Port Development: The Case of Huanghua Port in China. *Sustainability*, v. 12, n. 9, p. 3924, 2020.

ZHU, Guoxun et al. Technical configurations of the Internet of Things for environmental monitoring at large-scale coal-fired power plants. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 24, n. 5, p. 450-455, 2017.