

TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO APLICADAS NA EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Milton Augusto Barbosa¹

Débora Zumkeller Sabonaro²

Resumo: A Educação Ambiental (EA) e a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) têm grande importância para as atividades dos egressos nas empresas e para o equilíbrio do meio ambiente. Considerando essa característica multidisciplinar relevante a ser explorada no ensino, na pesquisa e na extensão para o monitoramento ambiental (MA), o objetivo desse artigo é responder quais e como podem ser aplicadas as tecnologias da I4.0 em MA, visando um meio ambiente ecológico equilibrado. A metodologia da pesquisa se baseia na seleção de artigos que citam aplicações da I4.0 em MA para a sustentabilidade. Os resultados demonstram que projetos multidisciplinares inovadores de MA podem ser utilizados na EA para o ensino técnico e superior.

Palavras-chave: Educação Ambiental; Monitoramento; Tecnologias; Sustentabilidade; Indústria 4.0.

Abstract: Environmental Education (EE) and the application of Industry 4.0 Technologies (I4.0) are of great importance for the activities of graduates in companies to balance the environment. Considering this relevant multidisciplinary characteristic to be explored in teaching, research, and extension for Environmental Monitoring (EM), the objective of this article is to answer which and how (I4.0) technologies can be applied in EM, to seek a means balanced ecological environment. The methodology is research that selects articles that cite applications of I4.0 in EM for Sustainability. The result demonstrates innovative multidisciplinary (EM) projects that can be used in EE for technical and higher education.

Keywords: Environmental Education; Monitoring; Technologies; Sustainability; Industry 4.0.

¹Universidade Federal de São Carlos. E-mail: mbarbosa@ifsp.edu.br.

Link para o Lattes: <https://lattes.cnpq.br/9701704335771486>

²Universidade Federal de São Carlos. E-mail: dzsabonaro@gmail.com.

Link para o Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0909810882585982>

Introdução

Segundo Vieira (2019; Torales-Campos, 2021 *apud* Nadai, 2024), a Educação Ambiental (EA) está presente desde a década de 80 em todos os níveis de ensino, quando instituiu-se a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e a Constituição Federal (CF) de 1988.

Na linha do tempo, a EA se manteve na agenda da sustentabilidade e foram elaborados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), em 1997; a Lei de Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), em 1999; e as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), em 2012.

A Resolução n.2 do Ministério da Educação (MEC), em 2012, estabeleceu as DCNs para a EA em função da preocupação mundial com as mudanças climáticas, a degradação da natureza, a redução da biodiversidade, os riscos socioambientais e a sustentabilidade.

Desse modo, a Resolução n.2 do MEC (Brasil, 2012, p.1) regulamenta alguns pontos para integrar os projetos da educação relativos ao meio ambiente e às tecnologias, por meio do desenvolvimento da interdisciplinaridade e abordagem transversal em suas ações de ensino, pesquisa e extensão, buscando a sustentabilidade socioambiental com a integração entre ciência e tecnologia.

As organizações e as cidades inteligentes sustentáveis também esperam o conhecimento de sustentabilidade e tecnologias por meio da EA para os egressos e a sociedade.

As pesquisas da ONU afirmam que a transição do modelo de Economia Linear (EL) para Economia Circular (EC) depende de as pessoas criarem habilidades sobre a EC para promover o interesse da comunicação nas escolas e universidades para as gerações atuais e futuras com mudança de mentalidade para uso de materiais, desenvolvimento de produtos, processos, produção e consumo no formato de EC para realmente a sustentabilidade possa ser aplicada de forma eficaz e eficiente (Carbonell-Alcocer; Romero-Luis; Gertrudix, 2021, p. 1).

Deve haver motivação das partes interessadas a injetar tecnologias da Indústria 4.0 para obter benefícios econômicos, ambientais e operacionais. Os órgãos governamentais devem impulsionar a infraestrutura tecnológica para a legislação ambiental, pois a adoção da infraestrutura tecnológica permite aos órgãos governamentais administrarem com eficácia o mecanismo de recompensas e punições das empresas, bem como auxiliar na gestão do histórico das empresas em relação às suas iniciativas ecológicas (Khan *et al.* 2022, p. 1).

Para Valentini *et al.* (2019, p.1), “recentemente a IoT cresceu muito rapidamente e representa uma oportunidade única de melhorar recursos em monitoramento ambiental com baixo custo e inclusão com uso da *internet*”. Porém, a concepção da EA ainda apresenta realidades distantes das DCNs para monitoramento ambiental (MA) utilizando tecnologias.

Segundo Lima e Alves (2022, p.9), a EA “está em todos os lugares do currículo de diversas disciplinas e, ao mesmo tempo, em lugar algum”. Desse modo, um dos maiores desafios da sociedade atual é promover a responsabilidade com o desenvolvimento econômico aliado ao desenvolvimento sustentável como forma de garantir o bem-estar. E apesar do “arcabouço legislativo que rege a temática no ensino superior, sua presença nas licenciaturas é constantemente apontada como um dos fatores que limitam seu desenvolvimento dentro das escolas” (Nadai, 2024, p.67).

Contudo, segundo Torales-Campos (2015, p.271 *apud* Nadai, 2024, p.67):

[...] estabelecem uma situação favorável ao desenvolvimento de diferentes temáticas, pois estimulam, legitimam e impulsionam o desenvolvimento de novos projetos escolares, programas institucionais, materiais didáticos e iniciativas em relação à formação continuada de professores, dentre outras estratégias importantes para a consolidação do campo educativo-ambiental.

Assim, uma regulamentação de DCN direciona a obrigatoriedade de menção em grade curricular dos conceitos de sustentabilidade para EA nas Instituições de Ensino (IEs) e capacitação de um mínimo de docentes na área ambiental para apresentar os conceitos.

E, com um conhecimento conceitual prévio sobre sustentabilidade com grade curricular obrigatória, o planejamento de projetos multidisciplinares de ensino, pesquisa e extensão com o envolvimento dos alunos, professores, sociedade e organizações na era digital podem aguçar o descobrimento do uso de tecnologias na prática.

Nesse sentido, o presente artigo busca conceituar a EA para o planejamento pedagógico de ensino, pesquisa e extensão, apresentando as tecnologias da I4.0 aplicadas em MA; e uma coletânea de quais e como são as aplicações para serem utilizadas nas redações de projetos pedagógicos de cursos e de projetos futuros multidisciplinares de ensino, pesquisa e extensão, visando inovações para a sustentabilidade no ensino médio e superior.

Conceitos de Educação Ambiental (EA)

A EA vai além de uma formação conceitual em um componente curricular obrigatório, demonstrando o tripé da sustentabilidade, os aspectos e impactos ambientais que degradam e poluem o ambiente.

Deve ser ampla e com objetivo de consciência de atitudes básicas da sociedade e de profissionais das IEs que promovem divulgação e estruturação das ações de sustentabilidade nos pilares ambiental, social e econômico. Dessa forma, “as ações de Educação Ambiental devem ser realizadas dentro do currículo escolar, pois além de estar inserida em lei, é nos espaços escolares que as ações de Educação Ambiental alcançam um público maior” (Santos, P. *et al.* 2022, p.477 *apud* Santos *et al.* 2024, p.88).

Em relação à EA conceitual, é recomendado por diretrizes que os projetos nas IEs possam ser multidisciplinares transversais com recursos da era digital com diversas áreas envolvidas para propor soluções que incluam a sociedade através da comunicação via *internet* com o uso de tecnologias que possam contribuir com ações sustentáveis.

[...] as ações de pesquisa e extensão universitária tornaram possível investigar o tratamento de temas interdisciplinares e transversais, como é o caso do meio ambiente. Enfatiza-se a relevância do uso de metodologias ativas no processo de ensino-aprendizagem como o caminho pedagógico para levar o estudante a ter uma participação colaborativa na construção do conhecimento. Dessa forma, cabe ao professor superar o desafio de manter seus alunos interessados e motivados com os conteúdos didáticos, tendo em vista o admirável mundo cibernético, recheado de atrativos (Eugenio, 2019; Souza, 2020 *apud* Santos *et al.* 2024, p.86).

Além disso, todos os atores do processo ensino e aprendizagem devem estar envolvidos, de modo interdisciplinar. Assim, os alunos e egressos podem conquistar conhecimento, habilidade e atitude com a análise crítica de que as mudanças comportamentais são necessárias para preservação do meio ambiente; e contribuir com a sociedade, mantendo a economia circular verde para replicar conhecimento e desenvolver projetos multidisciplinares inclusivos com tecnologias acessíveis para cumprir os objetivos de sustentabilidade.

Conceitos de Monitoramento Ambiental (MA)

A revisão teórica do conceito de MA define que é importante questionar qualquer mudança ou alteração natural ou antropogênica do meio ambiente, planejar uma forma de monitorar, coletar amostras de um organismo a ser observado, encontrar uma forma adequada para medir e analisar os

indicadores com objetivo de controlar de forma preventiva os riscos e impactos que podem gerar aos seres vivos do meio ambiente.

Segundo Bitar (2017, p.12), o MA consiste na realização de medições e/ou “observações específicas, dirigidas a alguns poucos indicadores e parâmetros, com a finalidade de verificar se determinados impactos ambientais estão ocorrendo”, podendo dimensionar sua magnitude e avaliar a eficiência de eventuais medidas preventivas adotadas.

Na década de 2010, o Ministério do Meio Ambiente – MMA (Brasil, 2009, p.4) definiu no Brasil o MA como o “conhecimento e acompanhamento sistemático da situação dos recursos ambientais dos meios físico e biótico, visando a recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental”, sendo que “a qualidade ambiental está relacionada ao controle de variáveis ambientais, que se alteram, seja em função das ações antrópicas, seja em função de transformações naturais”.

Segundo Ramos *et al.* (2024), em documento eletrônico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), o MA é um processo de coleta de dados, estudo, análise e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar informações (dados) qualitativas e quantitativas das condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo.

Na era digital da sustentabilidade, considera-se para pesquisa projetos de MA utilizando tecnologias em tempo real para controlar preventivamente degradações e poluições mitigando os impactos negativos para o bem-estar da sociedade.

Conceitos das Tecnologias da Indústria 4.0

A quarta Revolução Industrial apresenta tecnologias diversas que podem ser adaptadas e aplicadas em projetos de sustentabilidade com o objetivo de propor através de ensino, pesquisa e extensão soluções integradas inclusivas no pilar ambiental, social e econômico. O Quadro 1 (próxima página) descreve as tecnologias da Indústria 4.0, segundo a revisão da literatura.

De acordo com a literatura, as tecnologias conceituadas da I4.0 são aplicadas para a manufatura industrial de produtos, operações de serviços, agricultura de precisão, saúde e área ambiental.

Quadro 1: Tecnologias da Indústria 4.0.

Denominação	Descrição da Tecnologia
I 4.0 – Tecnologias Integradas	Segundo Mana (2018), diversas tecnologias possíveis de serem integradas através das redes de <i>Internet</i> para transformar processos físicos em virtuais.
<i>Cyber Physical Systems</i> - CPS Sistemas Ciber Físicos	Segundo Mana (2018), integração dos sistemas em termos de comunicação utilizando tecnologia da informação para colocar em operações objetos físicos e virtuais viabilizando combinação de processos, utilizando do trânsito de informações cibernético, tipo <i>internet</i> sem fio 5 G.
<i>Internet of Things</i> - IoT <i>Internet</i> das Coisas	Resume em objetos ligados na <i>internet</i> e compreende a comunicação de sistemas inteligentes usando IP para integração do sistema buscando a automação e controles de processos podendo se tornar autônomos e inteligentes (Anderl, 2014 <i>apud</i> Mana, 2018).
<i>Wireless Sensor Network</i> - WSN Rede de Sensores Sem Fio	Segundo Mana (2018), são sensores inteligentes interligados que realizam medição de uma ou mais grandezas, que coletam, analisam a medição e enviam a informação para outros sistemas integrados.
<i>Big Data</i> Banco de Dados Grande	Segundo Mana (2018), é uma grande quantidade de dados armazenados a todo instante e necessitam ser analisados na sequência de dados, informação e conhecimento.
<i>Cloud Computing</i> Computação em Nuvem	Computação em Nuvem, local definido onde são gravados e armazenados dados computacionais e usuários tem acesso em tempo real a qualquer momento através da rede de <i>internet</i> interligadas aos sistemas.
<i>Autonomous Robots</i> Robôs Autônomos	“Sistemas computacionais, partes mecânicas automáticas e controladas por circuitos integrados tornando sistemas mecânicos motorizados, controlados manualmente ou automaticamente por circuitos elétricos” (Mana, 2018, p. 51).
Realidade Aumentada – RA	A RA “está associada à inserção de informações adicionais ou objetos virtuais sobrepostos ou combinados em uma visualização do mundo real” (Azuma, 1997 <i>apud</i> Mana, 2018, p. 51).
<i>Machine Learning</i> - ML Aprendizado de Máquina	Segundo Mana (2018) e Azevedo (2017), ML é parte da área da Inteligência Artificial que a máquina aprende com os dados ou modelo, por meio de algoritmos e equações, dá aos computadores a capacidade de identificar padrões em dados massivos e fazer previsões.
<i>Additive Manufacturing</i> - AM Manufatura Aditiva	Descrevem a manufatura aditiva (AM), também conhecida como fabricação em camadas ou prototipagem rápida, como um “processo de fabricação fundamentalmente diferente dos métodos de fabricação convencionais, integrando o <i>design</i> assistido por computador” (Boschetto, 2016 <i>apud</i> Mana, 2018, p. 63).
Inteligência Artificial – IA	Segundo Mana (2018), a IA é uma tecnologia que o propósito é estudar, desenvolver e empregar dispositivos para realizarem atividades humanas de maneira autônoma. Também está ligada à robótica e à <i>Machine Learning</i> , ao reconhecimento de voz e de visão, entre outras tecnologias.
<i>Cyber Security</i> Segurança dos dados na <i>internet</i>	Segundo Mana (2018), a segurança dos dados de informação de forma correta, saída confiável e segura protegendo o conhecimento tecnológico e a segurança pessoal da execução.
Identificação por Rádio Frequência – RFID	Segundo Mana (2018), etiquetas com pequenos circuitos, denominados de microchips onde dados gravados podem se comunicar através de rádio frequência sem fios com outros equipamentos que recebem a informação e podem ler essa codificação.

Fonte: Autores (2023).

Metodologia da Pesquisa

Segundo Vergara (2009), a pesquisa aplicada é fundamentalmente motivada pela necessidade de resolver problemas concretos, mais imediatos, contemporâneos ou não. Tem, portanto, a finalidade prática, ao contrário da pesquisa pura, motivada basicamente pela curiosidade intelectual do pesquisador e situada sobretudo no nível de especulação.

A revisão da literatura considerou a utilização dos descritores *Industry 4.0 and Environmental Monitoring* para a pesquisa na base de dados *Scopus*, realizando a busca em título, resumo e palavras-chave, para direcionar as análises de I4.0 na área ambiental, no período de 2010 a 2022.

Após o levantamento dos artigos, foi realizada a leitura e análise dos resumos para seleção dos artigos que apresentavam uma relação do uso das tecnologias da I4.0 e MA, sendo os artigos citados, comentados no texto e referenciados na bibliografia.

Como critério de inclusão dos artigos, que foram base dos resultados da pesquisa aplicada, foram considerados o uso de tecnologias e as tendências da I4.0 em MA e o conteúdo aderido ao tema em revistas da área Ambiental, Sustentabilidade, Química, Biotecnologia, Poluição, Sensores, *Software*, Computação e Produção Sustentável. Foram descartados os artigos que mencionaram utilizar recursos da I4.0 somente para otimização industrial sem citar o conceito de sustentabilidade.

Assim, foram incluídos nas referências para a pesquisa aplicada 51 artigos publicados de 2014 a 2022, conforme mostra a Figura 1.

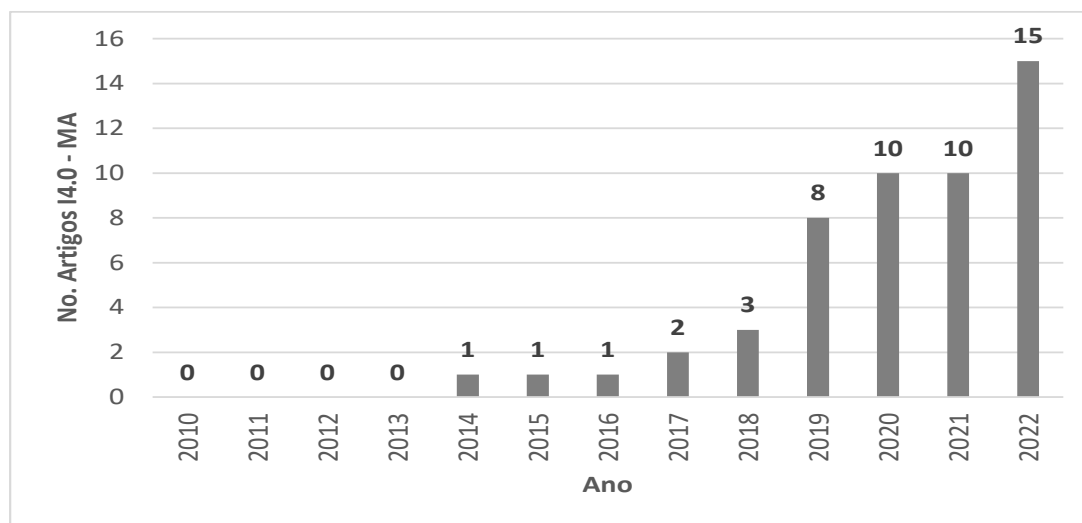


Figura 1: Número de Artigos I4.0 - MA / Ano

Fonte: Autores (2023).

Observa-se que os artigos publicados têm início somente em 2014, apresentando uma tendência do uso das tecnologias da I4.0 em MA. Além disso, a maioria das publicações inclui pesquisas acadêmicas ($43/51 = 84,3\%$) a partir do ano de 2019.

Os 51 artigos selecionados para a pesquisa mostraram que as tecnologias da I4.0 são aplicadas em vários segmentos relativos ao MA. A Figura 2 apresenta o número de artigos e os segmentos ambientais estudados.

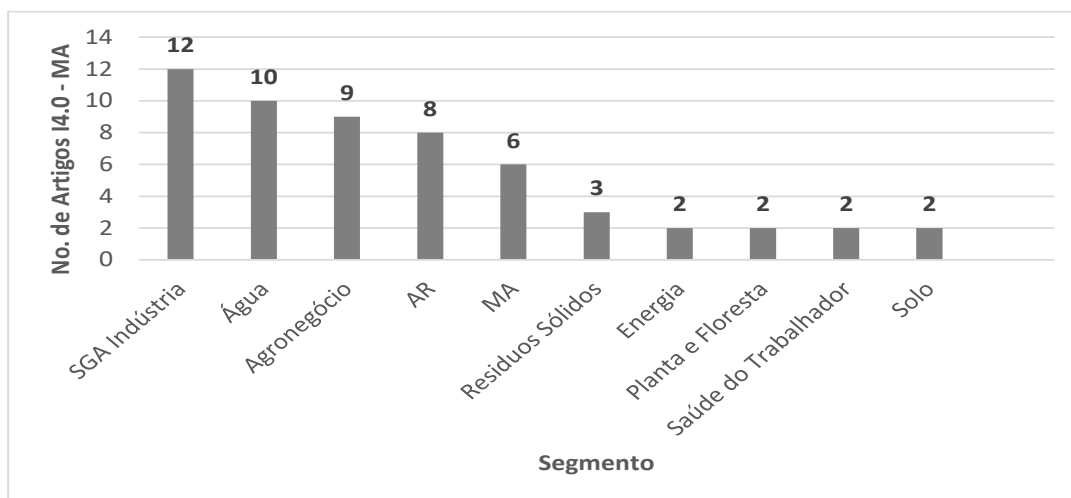


Figura 2 - Número de Artigos I4.0 - MA / Segmento
Fonte: Autores (2023).

Observa-se que os artigos acadêmicos publicados com uso de tecnologias da I4.0 são aplicados em vários segmentos da área ambiental, mas principalmente em Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) nas Indústrias, quanto ao monitoramento de águas, agronegócios para controle e otimização dos processos, em monitoramento do ar nos ambientes, MA no geral, gestão de resíduos sólidos e lixo, controle de energias, monitoramento de plantas e florestas, monitoramento do ambiente do trabalho e monitoramento de solo, pontos relevantes para serem considerados aos discentes na Educação Ambiental do ensino médio e superior. Das tecnologias mencionadas nos artigos, as combinadas são aplicadas nos segmentos de MA (Figura 3).

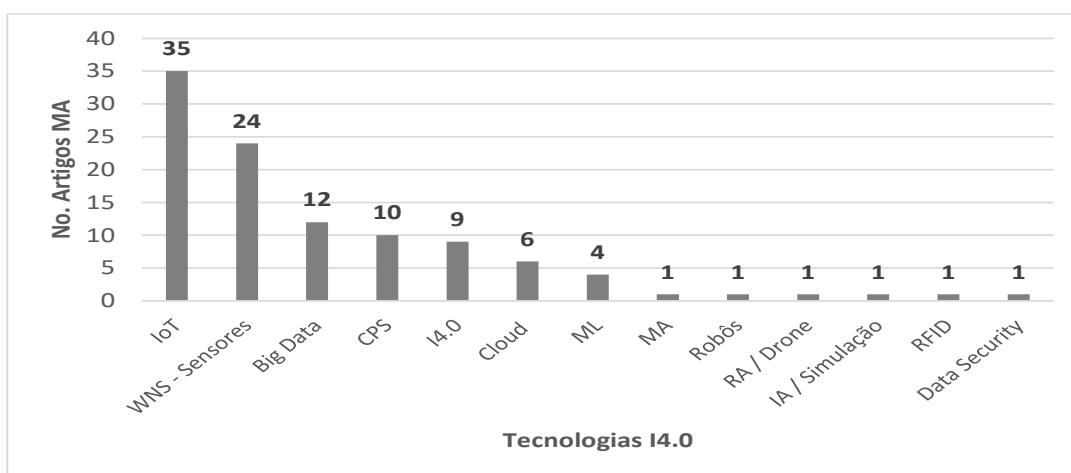


Figura 3: Número Artigos MA e Tecnologias I4.0
Fonte: Autores (2023).

A maior quantidade de uso das tecnologias combinadas da I4.0 em MA diz respeito à *IoT*, *WNS*, *big data* acessíveis, *CPS* integrando os sistemas com *internet* sem fio, I4.0 no geral citadas, *Cloud* – gravação em nuvem que serão descritas, citadas e referenciadas.

Essas tecnologias podem ser aplicadas nos conceitos de Educação Ambiental para projetos de pesquisa e extensão dos discentes utilizando-se do conceito multidisciplinar e transversal do ensino.

Estudos Aplicados das Tecnologias da I4.0 em MA

As primeiras publicações sobre tecnologias da I4.0 aplicadas em MA são de Armknecht e Guajardo (2014, p. 1548) e Guajardo e Katzenbeisser (2015, p. 1), os quais esperam que a *Internet* das coisas (*IoT*) conecte “perfeitamente tudo, todos e traga a promessa de ambientes inteligentes, indústria 4.0, gerenciamento de infraestrutura inteligente, monitoramento ambiental e recuperação de desastres, etc”.

Tang e Yang (2016) afirmam que tecnologias da I4.0 na produção, no controle e MA na agricultura de qualidade utilizam dispositivos conectados a *IoT*, informação de dados em tempo real para um *Big Data*.

Nos processos, Gregori *et al.* (2017) afirmam que as fábricas buscam mais eficiência em termos de custos e “pegada” ambiental, com uso de sensores inteligentes, uso de *IoT* e *Big data* para tomada de decisão e ações corretivas.

Chang e Tseng (2017, p. 1) afirmam que a “Indústria 4.0 está ganhando mais atenção do público e a correlação entre fábricas e fontes de poluição ambiental próximas é um assunto que merece pesquisa aprofundada”.

Garrido-Hidalgo *et al.* (2018) apresentam em seu estudo uma pulseira inteligente de conexão entre máquina e o homem para monitorar a atividade laboral e a segurança do trabalho utilizando sensores, *IoT* e banco de dados.

Mohan Kumar (2018, p. 1) afirma “que recursos da I4.0 denominados *IoT* são utilizados atualmente em diversas áreas e em supervisão ambiental, e que os dados podem ser atacados”.

A conectividade da *internet* para Sonawala, Tank e Patel (2017) se dá pelo uso de *IoT*, *CPS* e *Cloud* para obter monitoramento e controle de dados ambientais industriais.

Segundo Braccini e Marguerita (2019), existem poucas pesquisas empíricas que abordam o impacto da I4.0 na sustentabilidade. O estudo de caso demonstra o uso da tecnologia da I4.0.

Na gestão do uso da água, Bekic *et al.* (2019) apresentam um sistema integrado de informações do uso. Os exemplos envolvem as tecnologias da I4.0 de *IoT*, *Cloud* e *Big Data* com dados sendo coletados em tempo real por sensores.

Na silvicultura, Valentini *et al.* (2019) desenvolveram um sistema de sensores e transmissão de dados com *IoT* para monitorar o transporte de água nas árvores, crescimento diametral, características das folhas.

Para monitoramento da fauna marinha, Schleyer *et al.* (2018) afirmam que os recursos da I4.0 (*IoT*) podem ser utilizados para informações úteis de avistamento geográfico localizado para preservação da vida das espécies.

Na coleta de lixo doméstico das cidades para reciclagem e destinação correta, Bányai *et al.* (2019) utilizam um CPS da I4.0 para coleta de resíduos e otimização de rotas em seus processos de transporte.

A proposta de Tseng *et al.* (2019) é usar o recurso de inteligência artificial para reduzir os desperdícios e os impactos poluentes gerados na cadeia de abastecimento alimentar, buscando aplicar os conceitos de EC.

Em função da mudança climática, Valecce *et al.* (2019) afirmam que os recursos da I4.0 serão promissores com utilização de *IoT*, placas solares e sensores que enviam dados para tomada de decisão da agricultura inteligente.

Em dois estudos de casos aplicados na Espanha, Plehiers *et al.* (2019) afirmam que a qualidade do ar tem impacto significativo na saúde humana e utiliza recursos da I4.0 (*IoT*) para monitorar e controlar a poluição interna do ar.

Em relação ao monitoramento da qualidade do ar da atmosfera, Duisebekova *et al.* (2020) desenvolveram um sistema de cálculo da poluição com uso de recursos de redes sem fio e banco de dados (*Big Data*) remotos para previsões futuras.

Pyagay *et al.* (2020) desenvolveram um sistema de monitorar a qualidade do ar da atmosfera em tempo real com sensores e *Big Data* para evitar consequências à saúde humana.

Uma revisão sistemática da literatura, publicada por Ariza-Colpas *et al.* (2020), apresenta resultados de artigos publicados utilizando *IoT* para monitoramento de aquíferos demonstrando a importância do uso de tecnologias.

Na piscicultura automatizada, Gorbunova *et al.* (2020) aplicaram um sistema com energia solar, *IoT*, Wi-Fi e sensores de densidade da água, temperatura da água e do ar, teor de oxigênio dissolvido um alimentador flutuante.

Na automatização da agricultura, Katangle *et al.* (2020) aplicaram um hardware com sensores, *IoT* e *Big Data* em Nuvem para controle via *internet* da água a distância com base em umidade do solo, temperatura e umidade do ar.

O monitoramento da qualidade do ar é muito importante em relação ao perigo para a saúde humana, e Lin e Cheung (2020) citam o desenvolvimento de sensores e *IoT* para monitorar os gases em garagens subterrâneas.

Em cultivo de morangos, Juan Carlos *et al.* (2020) usam de recursos de *IoT* e sensores de temperatura, umidade relativa e Ph com informações de dados em tempo real para monitoramento da produção.

Na gestão de resíduos de sucata de metal, Mastos *et al.* (2020) propõem a comunicação de dados via *I4.0-IoT* e controle para organizar uma gestão mais sustentável da cadeia de suprimentos que reduz emissão de CO₂.

Manavalan e Jayakrishna (2019 *apud* Mastos *et al.*, 2020, p.12), “demonstram que as soluções da Indústria 4.0 têm potencial para melhorar a sustentabilidade econômica, ambiental e social na cadeia de suprimentos”.

Na área industrial, Esmaeilian *et al.* (2020) apresentam o uso da *IoT* e *Big Data* na cadeia de suprimentos para: (1) gerenciamento de energia; (2) logística inteligentes; (3) negócios inteligentes; (4) design verde para o consumidor; (5) ciclo de vida do produto; e (6) monitoramento da sustentabilidade.

No uso racional da água em irrigação, descrito por Winkler *et al.* (2020), é utilizado um sensor de umidade, *IoT*, *Big Data* e um controle aprendizado que aprimora a eficiência e a sustentabilidade.

Em relação ao monitoramento das florestas, Sahal *et al.* (2021) desenvolveram aplicação das tecnologias (*IoT*) e sensores para manejo florestal eficiente sustentável e identificação de incêndios.

Winkler (2021) desenvolveu *kits* de *hardware* simples integrados a *IoT* com uso de mini placas com sensores de baixo custo para monitoramento do ar, água e solo, possibilitando controle em agricultura e indústria.

Segundo Ferrari *et al.* (2021), as tecnologias *I4.0* possibilitam monitorar, integrar e rastrear processos por meio de sensores, controladores, e banco de dados para melhoria contínua dos processos produtivos e sustentabilidade.

Nur-A-Alam *et al.* (2021) desenvolveram um modelo eficaz de controle de energia utilizando um aparelho celular inteligente, sensores e microprocessador com comunicação de longa distância.

Amjad, Rafique e Khen (2021), em seu estudo de caso, utilizaram o conceito de manufatura enxuta sustentável, as tecnologias *I4.0* para monitoramento e do processo, reduzindo desperdícios e emissões que impactam o meio ambiente.

Utilizando de Drones, *IoT* e 5G, Alsamhi *et al.* (2021) afirmam ter muitas aplicações, como vigilância, agricultura, monitoramento de poluição, de desastres, segurança pública, saúde e preservação ambiental.

Segundo Facchini, Digiesi e Vitti (2021), na gestão de resíduos em cidades inteligentes pode-se utilizar *WSN*, *CPS* e *IoT* para controle da capacidade de lixeiras e momento exato de coleta, otimizando a roteirização.

Para Shahrani *et al.* (2021), a tecnologia I4.0 com aplicação de robô autônomo movido com energia solar, sensores sem fio, *IoT* e *Cloud* é essencial para monitoramento das águas e da vida aquática em tempo real.

Nas indústrias de bebidas e alimentos, Watson *et al.* (2021) descrevem a aplicação de sensores e *Machine Learning* para monitoramento, análise de dados e tomadas de decisões mais eficientes para reduzir o impacto ambiental.

García-Muiña *et al.* (2021), em seu estudo de I4.0, demonstram que a digitalização dos processos produtivos possibilita a avaliação do impacto ambiental e monitora a sustentabilidade empresarial.

Na agricultura, área importante para a sustentabilidade do planeta, Singh e Yogi (2022) afirmam que os sensores sem fio baseados na *IoT* podem monitorar o ambiente ecológico, a preparação do solo, semeadura, o estado da cultura, identificação de pragas, irrigação, pulverização de fertilizantes e colheita.

Na Indústria de alimentos, Kumar (2022) afirma que as tecnologias são usadas em rastreabilidade, inspeção e monitoramento ambiental, qualidade e agricultura de precisão para melhorar a sustentabilidade, otimização de insumos agrícolas, automação de processos, entre outros, para melhorar a circularidade e a sustentabilidade.

Em função de mudanças climáticas, Shilin *et al.* (2022) propõem usar as ferramentas digitais da I4.0, *software*, *hardware* e *Big Data* para suporte de informação para o gerenciamento integrado de recursos hídricos.

Na avicultura, para garantir os limites de emissão de gases efeitos estufa em tempo real, Bumanis *et al.* (2022) citam o uso de sensores, *CPS* (5G), *Cloud*, *IoT* e *Data Security*.

Na agricultura de frutas, Occhiuzzi *et al.* (2022) descrevem que o controle das condições ambientais e dos gases em câmaras usando a tecnologia I4.0 - RFID - é muito importante para monitorar o amadurecimento e a qualidade.

Segundo Bradu *et al.* (2023), o uso de *IoT* e sensores para desenvolver tecnologias inovadoras para ter produtos seguros ecologicamente por meio de monitoramento e controle ambiental do ar, água, solo e espécies.

Thakur e Devi (2022) propõem sistemas técnicos portáteis e de fácil utilização para monitoramento de fontes de água em tempo real ou no local, utilizando *IoT* e alinhamento a I4.0 para o monitoramento da qualidade da água.

Kychkin, Gorshkov e Kukarkin (2022) desenvolveram um sistema de tomada de decisão integrado de *IoT*, *Big Data*, *Machine Learning* para monitorar, controlar e gestão do impacto de emissões atmosféricas Industrial.

No artigo de Mboli, Thakker e Mishra (2022), a *IoT*, *CPS*, 5G, Nuvem e Manufatura aditiva e Sistema de Decisão podem ser aplicados para rastrear,

monitorar e analisar o valor residual dos produtos em tempo real na cadeia de suprimentos circular.

Majid *et al.* (2022) afirmam que a *IoT* e *WSN* automatizam a extração de dados em locais remotos para MA, agricultura de precisão, controle de energia, de poluição, detecção de ataques químicos e biológicos.

Waters *et al.* (2022) afirmam que uma aplicação sustentável com sensores e *IoT* para medir resíduos de gás em seu processo e ter dados para supervisão para tomar decisões de otimização dos processos.

No segmento da construção civil, Yousif *et al.* (2022) recomendam o uso de I4.0 nas práticas tradicionais para reduzir o alto consumo de energia, a poluição ambiental e aumentar a produtividade na execução dos projetos.

Para Schneider *et al.* (2022), a simulação de modelagem matemática e as tecnologias digitais são ferramentas indispensáveis para apoiar instalações de recuperação de recursos hídricos para a sustentabilidade.

Ramos *et al.* (2022) desenvolveram um instrumento analítico com um amostrador automático e um *software* para captura de filme digital em tempo real que analisa por cores a quantidade de sedimentos da qualidade da água.

Lemos, Gaspar e Lima (2022) abordam o projeto de monitoramento individual em tempo real utilizando sensores e *IoT* que medem nível de poeira, ruído, radiação ultravioleta, iluminação e umidade, agentes de riscos à saúde do trabalhador.

Conclusões

A Educação Ambiental no ambiente escolar é fundamental para a formação do conhecimento sobre sustentabilidade e a tecnologia inclusiva da *internet*. Por meio de dispositivos móveis pode contribuir na era digital com aplicativos para desenvolvimento de projetos facilitadores e formação crítica conscientizadora sobre atitudes de estudantes, professores e sociedade.

Docentes e discentes podem utilizar esta pesquisa em componentes curriculares transversais e multidisciplinares, para escolher um tema necessário e se aprofundar no monitoramento ambiental aplicando tecnologias inovadoras.

Para despertar interesse na era digital ambiental, alguns exemplos de projetos transversais e multidisciplinares de sustentabilidade são desenvolvidos no IFSP, Campus Boituva: (1) instalação de sistema fotovoltaico com recursos governamentais e controladores de geração; controladores com *IoT* de ares condicionados via sensores e dispositivos móveis; (2) criação de ecopontos para reparos, reuso, desmontagens e destinação correta de equipamentos eletrônicos; (3) ecoponto de reciclagem de resíduos com comunicação via *internet* a cooperados para logística reversa; (4) o projeto Saco Verde para a sociedade separar os reciclados; (5) conscientização do controle do uso da

água; (6) sistema de compostagem de resíduos orgânicos; e (7) Semanas de Tecnologia e Sustentabilidade.

Existem muitas oportunidades de resolver problemas com ensino de Educação Ambiental no ensino médio e superior aplicando tecnologias da I4.0 em MA, com perspectivas de novas tendências, desenvolvimento de sistemas de melhor eficiência que podem ser projetos inovadores para MA em tempo real.

As inovações podem surgir de projetos multidisciplinares motivados no ensino de Educação Ambiental no nível médio e superior por meio do ensino, da pesquisa e extensão para cumprir a resolução das DCNs para a Educação Ambiental.

As inovações e o uso das tecnologias da I4.0 integradas em MA em tempo real proporciona controle, decisão e ações preventivas com base de dados e tendem a ser cada vez mais aplicadas em breve, com o avanço e ampliação da área de cobertura da tecnologia da *internet*, principalmente *internet* via satélite a um custo menor.

Os egressos podem utilizar a Educação Ambiental e tecnológica para novos projetos empresariais e governamentais, aplicando as tecnologias da I4.0 para controlar e mitigar em tempo real os aspectos e impactos ambientais através de monitoramento ambiental *online* para benefícios da sociedade, melhorando os indicadores de sustentabilidade.

Essas práticas requerem o uso em salas de aula, de estudos críticos e pesquisas aplicadas nas IEs para desvendar as barreiras e oportunidades, ainda com muitas lacunas a serem pesquisadas, inclusive considerando uma tendência motivadora da era digital para utilização de tecnologias inclusivas de baixo custo na área ambiental, para preparar um engajamento governamental das instituições, de estudantes, professores, comunidade, sociedade e empresas.

Agradecimentos

Ao IFSP e à UFSCar, por tornar possível o doutoramento do primeiro autor.

Referências

ALSAMHI, S. H. *et al.* Green internet of things using UAVs in B5G networks: A review of applications and strategies. **Ad Hoc Networks**, v. 117, 2021.

AMJAD, M. S.; RAFIQUE, M. Z.; KHAN, M. A. Leveraging Optimized and Cleaner Production through Industry 4.0. **Sustainable Production and Consumption**, v.26, p.859-871, 2021.

ARIZA-COLPAS, P. P. *et al.* Internet of Things applied to Aquifer Monitoring Systems: A survey. **Procedia Computer Science**, v.170, p. 1090-1095, 2020.

Revbea, São Paulo, V. 20, Nº 1: 225-243, 2025.

ARMKNECHT, F.; GUAJARDO, J. International Workshop on Trustworthy Embedded Devices, 4., 2014. **Proceedings of the ACM Conference on Computer and Communications Security**, Scottsdale Arizona USA, 2014. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.1145/2666141>. Acesso em: dez. 2022.

BÁNYAI, T. *et al.* Optimization of municipal waste collection routing: Impact of industry 4.0 technologies on environmental awareness and sustainability. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n.4, 2019.

BEKIĆ, D. *et al.* Examples of trends in water management systems under influence of modern technologies. **Gradevinar** 71, v.10, p.833-842, 2019.

BITAR, O. Y. **Meio ambiente & geologia**. São Paulo: SENAC SP, 2017. cap. 32, p. 499-508.

BRACCINI, A. M.; MARGUERITA, E. G. Exploring organizational sustainability of Industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company. **Sustainability (Switzerland)**, v.11, n.1, 2019.

BRADU, P. *et al.* Recent advances in green technology and Industrial Revolution 4.0. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 124488–124519, 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Resolução nº 2, de 15 de junho de 2012**. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para Educação Ambiental. Brasília, DF: MEC, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Programa Nacional do Meio Ambiente - II PNMA**. Fase 2, 2009 – 2014. Brasília, DF: MMA, 2009.

BUMANIS, N. *et al.* Data Conceptual Model for Smart Poultry Farm Management System. **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 517-526, 2022.

CARBONELL-ALCOCER, A.; ROMERO-LUIS, J.; GERTRUDIX, M. A Methodological Assessment Based on a Systematic Review of Circular Economy and Bioenergy Addressed by Education and Communication. **Sustainability (Switzerland)**, v.13, n.8, 2021.

CHANG, J. H.; TSENG, C. Y. Analysis of Correlation between Secondary PM2.5 and Factory Pollution Sources by Using ANN and the Correlation Coefficient. **IEEE Access**, V. 5, p. 22812-22822, 2017.

DUISEBEKOVA, K. S. *et al.* Development of an information-analytical system for the analysis and monitoring of climatic and ecological changes in the environment. **Procedia Computer Science**, v. 170, p. 578-583, 2020.

ESMAEILIAN, B. *et al.* Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, 2020.

FACCHINI, F.; DIGIESI, S.; VITTI, M. Waste collection with smart bins and residual capacity forecasting: The case of an Apulia Town. **Mediterranean Conference on Control and Automation**, 29., 2021. MED, Puglia, Italy, p. 712-717, 2021.

FERRARI, A. M. *et al.* Dynamic life cycle assessment (LCA) integrating life cycle inventory (LCI) and Enterprise resource planning (ERP) in an industry 4.0 environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, 2021.

GARCÍA-MUIÑA, F. *et al.* Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 327, 2021.

GARRIDO-HIDALGO, C. *et al.* IoT Heterogeneous Mesh Network Deployment for Human-in-the-Loop Challenges Towards a Social and Sustainable Industry 4.0. **IEEE Access**, v. 6, p. 28417-28437, 2018.

GORBUNOVA, A. V. *et al.* Prospects and opportunities for the introduction of digital technologies into aquaculture governance system. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 422, 2020.

GREGORI, F. *et al.* Digital Manufacturing Systems: A Framework to Improve Social Sustainability of a Production Site. **Procedia CIRP**, v. 63, p. 436-442, 2017.

GUAJARDO, J.; KATZENBEISSER, S. Workshop Internacional sobre Dispositivos Embarcados Confiáveis, 5., 2015. **Anais...22ª Conferência ACM SIGSAC sobre Segurança de Computadores e Comunicações**, 2015, p. 1715-1716.

JUAN CARLOS, A. D. *et al.* Monitoring system of environmental variables for a strawberry crop using IoT tools. **Procedia Computer Science**, v. 170, p. 1083-1089, 2020.

KATANGLE, S. *et al.* Smart Home Automation-cum Agriculture System. **International Conference on Industry 4.0 Technology**, 14., 2020. 14Tech, Pune, India, p. 121-125, 2020.

KHAN, S. A. R. *et al.* A systematic literature review on circular economy practices: challenges, opportunities and future trends. **Journal of Entrepreneurship in Emerging Economies**, v.14, n.5, 2022.

KUMAR, C. H. M.; AMESWARA RAO, M. Critical review attacks and countermeasures in internet of things enabled environments. **International Journal of Engineering and Technology(UAE)**, p.7, n.27, p.163-167, 2018.

KUMAR, S. Evolving Role of Sustainable Procurement in Coming Decades. **Public Administration, Governance and Globalization**, v.21, p. 351-383, 2022.

KYCHKIN, A.; GORSHKOV, O.; KUKARKIN, M. IoT - Platform for ML-based Industrial Air Emissions Data Processing. **Proceedings - International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing**, 2022. ICIEAM, Sochi, Russia: IEEE, 2022, p.1045-1050. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez338.periodicos.capes.gov.br/document/9787190>.

Acesso em: jun. 2023.

LEMOS, J.; GASPAR, P. D.; LIMA, T. M. Individual Environmental Risk Assessment and Management in Industry 4.0: An IoT-Based Model. **Applied System Innovation**, v.5, n.5, p.88, 2022.

LIMA, I. B.; ALVES, S. C. **Educação Ambiental e interdisciplinaridade**: da explicação de conceitos nos PCNs e DCNEM à prática pedagógica no ensino médio. Fortaleza-CE: UECE, 2022.

LIN, Y. C.; CHEUNG, W. F. Developing WSN/BIM-Based Environmental Monitoring Management System for Parking Garages in Smart Cities. **Journal of Management in Engineering**, v.36, n.3, 2020.

MAJID, M. *et al.* Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review. **Multidisciplinary Digital Publishing Institute - MDPI**, v.22, n.6, 2022.

MANA, R. **Análise da aderência da Indústria 4.0 ao Lean Manufacturing utilizando análise de correspondência múltipla**. (Dissertação de Mestrado). Limeira: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Aplicadas, 2018.

MASTOS, T. D. *et al.* Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution. **Journal of Cleaner Production**, v.269, 2020.

MBOLI, J. S.; THAKKER, D.; MISHRA, J. L. An Internet of Things-enabled decision support system for circular economy business model. **Software - Practice and Experience**, v.52, n.3, p. 772-787, 2022.

NADAI, F.; DOMINGUES, S. C. Educação Ambiental e formação de professores no Brasil: objetivos e desafios. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v.19, n.8, p. 64–70, 2024.

NUR-A-ALAM *et al.* Smart monitoring and controlling of appliances using lora based iot system. **Designs**, v.5, n.1, 2021.

OCCHIUZZI, C. *et al.* Automatic Monitoring of Fruit Ripening Rooms by UHF RFID Sensor Network and Machine Learning. **IEEE Journal of Radio Frequency Identification**, v.6, 2022.

PLEHIERS, P. P. *et al.* Artificial Intelligence in Steam Cracking Modeling: A Deep Learning Algorithm for Detailed Effluent Prediction. **Engineering**, v.5, n.6, p.1027-1040, 2019.

PYAGAY, V. T. *et al.* Analysis and processing of environmental monitoring system. **Procedia Computer Science**, v.170, p. 26-33, 2020.

RAMOS, N. P. *et al.* **Monitoramento Ambiental**. EMBRAPA, 2024.

RAMOS, R. O. *et al.* A video processing and machine vision-based automatic analyzer to determine sequentially total suspended and settleable solids in wastewater. **Analytica Chimica Acta**, v. 1206, 2022.

SAHAL, R. *et al.* Industry 4.0 towards forestry 4.0: Fire detection use case. **Sensors (Switzerland)**, v.21, n.3, p. 1-36, 2021.

SANTOS, F. C.; AZEVEDO, S. L. M.; ALMEIDA, M. S. P. Metodologias ativas para a Educação Ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v.18, n.8, p. 84-99, 2024.

SCHLEYER, G. *et al.* An application for geolocalized sightings of marine fauna supported by a social internet of things approach. **IEEE International Conference on Automation**. Congress of the Chilean Association of Automatic Control, 23., 2018. ICA-ACCA, Concepcion, Chile, 2018, pp. 1-6.

SCHNEIDER, M. Y. *et al.* Mathematical modelling is an indispensable tool to support water resource recovery facility (WRRF) operators and engineers with the ambition of creating a truly circular economy and assuring a sustainable future. Despite the successful application of mech. **Water Science and Technology**, v.85, n9, p. 2503-2524, 2022.

SHAHRANI, M. A. A. M. *et al.* River Water Quality Robot Embedded with Real-Time Monitoring System: Design and Implementation. **IEEE Control and System Graduate Research Colloquium**, 12., 2021. ICSGRC, Shah Alam, Malaysia, 2021, pp. 46-50.

SHILIN, M. E. A. *et al.* Innovative Digital Tools for Integrated Water Resources Management in Arctic. **Lecture Notes in Networks and Systems**, v.402, p. 1239-1246, 2022.

SINGH, G.; YOGI, K. K. Internet of Things-Based Devices/Robots in Agriculture 4.0. **Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies**, v. 93, p. 87-102, 2022.

SONAWALA, N. M.; TANK, B.; PATEL, H. Iot protocol based environmental data monitoring. **Proceedings of the International Conference on Computing Methodologies and Communication**, Erode, India, 2017, p. 1041-1045.

TANG, C.; YANG, N. A monitoring and control system of agricultural environmental data based on the internet of things. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience**, v.13, n.7, p. 4694-4698, 2016.

THAKUR, A.; DEVI, P. A Comprehensive Review on Water Quality Monitoring Devices: Materials Advances, Current Status, and Future Perspective. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v.54, n.2, 2022.

Revbea, São Paulo, V. 20, Nº 1: 225-243, 2025.

TSENG, M. L. *et al.* Pathways and barriers to circularity in food systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 143, p. 236-237, 2019.

VALECCE, G. *et al.* Solarfertilization: Internet of things architecture for smart agriculture. **IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)**, Shanghai, China, 2019, pp.1-6. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez338.periodicos.capes.gov.br/document/8756735>. Acesso em: set. 2023.

VALENTINI, R. *et al.* New tree monitoring systems: From industry 4.0 to nature 4.0. **Annals of Silvicultural Research**, v.43, n.2, p. 84-88, 2019.

VERGARA, S. C. **Começando a definir a metodologia**. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 11 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WATERS, M. *et al.* Open Source IIoT Solution for Gas Waste Monitoring in Smart Factory. **Sensors**, v.22, n.8, 2022.

WATSON, N. J. *et al.* Intelligent Sensors for Sustainable Food and Drink Manufacturing. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.642786>. Acesso em: set. 2023.

WINKLER, D. A. *et al.* OPTICS: Optimizing irrigation control at scale. **ACM Transactions on Sensor Networks**, v.16, 2020.

WINKLER, R. MeteoMex: Open infrastructure for networked environmental monitoring and agriculture 4.0. **PeerJ Computer Science**, v.1, p. 1-23, 2021.

YOUSIF, O. S. *et al.* Monitoring the Construction Industry towards a Construction Revolution 4.0. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v.17, n.2, p. 633-641, 2022.