

**COLÉGIO BRASILEIRO DE ALTOS ESTUDOS  
FÓRUM DE CIÊNCIA E CULTURA  
UFRJ  
Programa de cátedras para o ano de 2025.**

**ÁREA TEMÁTICA: Os Conceitos da Economia Circular e a  
Sustentabilidade na Gestão de Organizações.**

**Patrono: Professor Rogério Vale( FALECIDO).**

O professor Rogerio Valle: Graduado em Engenharia Mecânica e de Automóveis pelo Instituto Militar de Engenharia, mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e doutor pela Universite Paris V, atuou como professor Titular do Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ, onde também coordenou o SAGE (Laboratório de Sistemas Avançados em Gestão da Produção).

O professor tinha forte atuação nas áreas de Gestão do Ciclo de Vida, Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida, Gestão de Processos, Teoria da Decisão Multicritério, Biotecnologias Marinhas, Logística Reversa e foi um dos organizadores do I Fórum Brasileiro de ACV, em 2015, no Rio de Janeiro.

Autor e organizador de vários artigos científicos e livros, entre estes “Logística Reversa, processo a processo”, (Editora Atlas, 2014), coordenou projetos importantes como a Avaliação da Sustentabilidade dos Jogos Rio2016 para o COI e o programa da COPPE de Treinamento em Relatórios de Sustentabilidade, certificado pela Global Reporting Initiative (GRI), além de outros sobre ACV com a Halliburton, Embrapa e Braskem.

**Nome : Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas**

**CPF: 300.757.937-68**

## **1 - Identificação da Proposta**

**Área temática: Os Conceitos da Economia Circular e a Sustentabilidade na Gestão de Organizações.**

**Tipo de solicitação:** Proposta de Cátedra.

- **Apêndice A:** contém revisão de literatura;

**Proponente:** Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas

**Endereço para acessar este CV:** <https://lattes.cnpq.br/9953503354410892>

**E-mail:** [osvaldoquelhas@id.uff.br](mailto:osvaldoquelhas@id.uff.br)

**Dados do Proponente:** Prof. Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas, D. Sc;

O proponente do projeto é atualmente professor titular na UFF. O proponente apresenta experiência de projetos de proposta.

**Área do Conhecimento predominante:**

Área do conhecimento predominante e áreas do conhecimento correlatas:

- 3.08.01.00-1 Gerência de Produção e;
- 3.08.01.02-8 Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção.

Esta proposta faz parte da área de concentração em Gestão de Produção, mais especificamente da sustentabilidade e da economia circular. O proponente desenvolve proposta e extensão.

## RESUMO

A análise da convergência entre as práticas e princípios da sustentabilidade e da economia circular com as tecnologias da Indústria 5.0 permite a compreensão e a formulação da premissa de que as tecnologias da indústria 5.0 viabilizam maior flexibilidade e fluxos de informação mais ágeis, contribuindo assim para a formulação de planos de implantação com efetividade da sustentabilidade e da economia circular.

O propósito é constatar benefícios no sincronismo das práticas de sustentabilidade, da economia circular com as tecnologias da Indústria 5.0. A proposta ganha significativa importância e originalidade ao considerá-la no cenário socioeconômico de economias emergentes, no Brasil e demais países do BRICS, nos quais existem barreiras e desafios sociotécnicos similares. O objetivo principal desta proposta é examinar em organizações brasileiras, com profundidade, as convergências de práticas de sustentabilidade e da economia circular no ambiente organizacional e tecnológico da Indústria 5.0.

Como objetivos específicos destacam-se: a) analisar conceitos e práticas de sustentabilidade e economia circular em comum às organizações a partir da inserção das tecnologias oriundas da quarta revolução industrial; b) verificar a potencial sinergia ou dissidência entre a implementação da sustentabilidade e da economia circular em ambientes organizacionais e tecnológicos da Indústria 5.0; c) desenvolver grupo de proposta para o estudo dessas abordagens. A caracterização metodológica dessa proposta é eminentemente exploratória. Além disso, deve ser ressaltada a natureza prática e orientada à problemática indicada, o que requer abordagem investigativa e empírica. Os resultados esperados para este projeto incluem a validação empírica em profundidade do relacionamento entre as práticas de sustentabilidade, da economia circular e das tecnologias de Indústria 5.0.

**Palavras-chave:** *Indústria 5.0, Economia Circular; Transformação Digital; Sustentabilidade; Indicadores de circularidade.*

**A-** Relevância ,originalidade e carater inovador da contribuição científica,tecnológica, intelectual e artísticas do proponente ao longo da carreira, com ênfase na atividade recente( ultimos 5 anos) :

O Proponente tem se dedicado a explorar os temas mais atuais, como a temática da economia circular que tem ganhado destaque nos últimos anos sendo pauta de diversos programas nas organizações e sendo tema de diversas propostas no âmbito acadêmico (Di Vaio et al., 2022 e Gundu et al., 2022). Outras propostas integradas à sustentabilidade e a indústria 5.0. Diversas dessas propostas, tem concluído que as tecnologias do processo de transformação digital podem ajudar uma organização a aderir e manter um negócio circular e sustentável (El Hilali e El Manouar, 2019; Roos, Kubina e Farafonova 2021; Gundu et al., 2022; Dwivedi et al., 2023).

Em 2021, o proponente foi eleito como “acadêmico” pela ABQ Academia Brasileira da Qualidade, em companhia de nomes como Jorge Gerdau(Indústrias Gerdau), Itiro Iida(UNB), ANA MARIA Malik (FGV), Ana **CRISTINA** Limongi-França(USP), Saidul Rahman **MAHOMED**(Editor da QualityMark), Marisa Eboli (MEC), João Batista TURRIONI (UNIFEI) e Jorge Emanuel Reis CAJAZEIRA( relator e redator da ISO 26000). Em função do desempenho de inovação no ensino, na proposta, na organização de eventos técnico científicos.

Nos ultimos 5 anos deu continuidade e ênfase em sua trajetória de vida acadêmica à integração entre a Universidade e o ambiente produtivo( Empresas, Federações de Indústria, Sistema S, SEBRAE).

Quanto a contribuição científica e intelectual , tecnologica e técnica , pode-se identificar a competência na gestão da integração universidade - empresa : existe a captação de novos projetos de cooperação com diversas instituições nacionais e internacionais, destacando-se as ações na direção da internacionalização , verificada por aproximações junto a universidades europeias e da américa do sul. Esta tendência é acompanhada pela consolidação de parcerias com outras instituições nacionais, tais como: FUNDACENTRO, INMETRO, ABQ Academia Brasileira da Qualidade, FORUM DE EMPRESAS BRASIL ITÁLIA, Consulado Italiano, ibp instituto brasileiro do petroleo, gás e biocombustíveis, cefet/rj, inpi , abepro, abar Associação Brasileira de Agências de Regulamentação, ABAG Associação Brasileira do Agronegócio, ÁGUAS DO BRASIL, ABRAMAN ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO e SBGC SOCIEDADE BRASILEIRA DA GESTÃO DO CONHECIMENTO.

A contribuição científica pode ser identificada com evidências em publicações de artigos em periódicos qualificados:

1. Journal of Cleaner Production journal , “Framework to supporting monitoring the circular economy in the context of industry 5.0: A proposal considering circularity indicators, digital transformation, and Sustainability” , Renan Carriço Payer , Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas, Níssia Carvalho Rosa Bergiante , Production Engineering, Fluminense Federal University (Brazil), 2024.

2. CAIADO, R. G. G.; RAMPASSO, I. S.; ANHOLON, R.; QUELHAS, O.L.G.. Analysis of asset management difficulties observed in Brazilian firms: A study based on expert survey and Fuzzy TOPSIS. JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING. Fator de Impacto (2023 JCR): 1,8000, v.30, p.1 - 23, 2024.

3. TORTORELLA, GUILHERME LUZ; ANTONY, JIJU; SONY, MICHAEL; QUELHAS, O L G; MEIRIÑO, M. J.; FRANCA, SERGIO; NASCIMENTO, DANIEL; CAIADO, RODRIGO; KAGIOGLOU, MIKE; ROMERO, DAVID. Why are research and practice on operational excellence still far apart? Ecological knowledge management view. TOTAL QUALITY MANAGEMENT & BUSINESS EXCELLENCE. Fator de Impacto (2023 JCR): 3,6000, v.35, p.606 - 630, 2024.

4. LEAL FILHO, WALTER; FRANKENBERGER SILVA, FERNANDA; SALVIA, AMANDA; SHIEL, CHRIS; PAÇO, ARMINDA; PRICE, LIZ; BRANDLI, LUCIANA LONDERO; RAMPASSO, IZABELA SIMON; ANHOLON, ROSLEY; Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves; PRETORIUS, RUDI WESSEL. An overview of research trends on sustainability in higher education - an exploratory study. International Journal of Sustainability in Higher Education. Fator de Impacto(2023 JCR): 3,0000, v.24, p.1161 - 1175, 2023.

5. PIO, P. G. C.; SIGAHI, T.; RAMPASSO, I. S.; SATOLO, E. G.; SERAFIM, M. P.; QUELHAS, O L G; LEAL FILHO, W.; ANHOLON, R.. Complaint management: comparison between traditional and digital banks and the benefits of using management systems for improvement. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTIVITY AND PERFORMANCE MANAGEMENT. Fator de Impacto (2023 JCR): 3,6000, v.73, p.1050 - 1070, 2023.

6. FERREIRA JUNIOR, P. C. D.; MACHADO, E. M. M.; MEIRIÑO, M. J.; QUELHAS, O L G; MEXAS, M. P.. Governança Corporativa, Sustentabilidade e

Responsabilidade Social: Estudo Bibliométrico, suas Relações e Contribuições às Organizações. *TECHNIQUES, METHODOLOGIES AND QUALITY*. v.-, p.2 - 20, 2023.

7. RAMPASSO, IZABELA SIMON; ANHOLON, ROSLEY; Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves; VELAZQUEZ, LUIS; MAC-LEAN, CLAUDIA. Guest editorial: Latin American perspectives on sustainability in higher education. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. Fator de Impacto(2023 JCR): 3,0000, v.24, p.233 - 234, 2023. Citações: Citações a partir de 1996 1 | Citações a partir de 1996 1.

8. FERNANDES, PEDRO GALL; Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves; GOMES, CARLOS FRANCISCO SIMÕES; JÚNIOR, ENDERSON LUIZ PEREIRA; BELLA, RICARDO LUIZ FERNANDES; JUNIOR, CLAUDIO DE SOUZA ROCHA; PEREIRA, RUAN CARLOS ALVES; BASILIO, MARCIO PEREIRA; SANTOS, MARCOS DOS. Product Engineering Assessment of Subsea Intervention Equipment Using SWARA-MOORA-NAG Method. *SYSTEMS*. Fator de Impacto(2023 JCR): 2,3000, v.11, p.125, 2023. Citações: Citações a partir de 1996 5 | Citações a partir de 1996.

9. CAIADO, RODRIGO GOYANNES GUSMÃO; SCAVARDA, LUIZ FELIPE; AZEVEDO, BRUNO DUARTE; DE MATTOS NASCIMENTO, DANIEL LUIZ; Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves. Challenges and Benefits of Sustainable Industry 5.0 for Operations and Supply Chain Management-A Framework Headed toward the 2030 Agenda. *Sustainability*. Fator de Impacto(2023 JCR): 3,3000, v.14, p.830 - 856, 2022. Citações: Citações a partir de 1996 43 | Citações a partir de 1996 61.

10. NASCIMENTO, D. L. M.; QUELHAS, O.L.G.; MOYANO-FUENTES, J.; TORTORELLA, G. L.. Circular value stream mapping 5.0: Proposed general model and application to a digital 3D printing recycling factory. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*. Fator de Impacto(2023 JCR): 10,9000, v.34, p.1 - 47, 2022.

11. ANHOLON, ROSLEY; RAMPASSO, IZABELA SIMON; DIBBERN, THAIS; SERAFIM, MILENA PAVAN; FILHO, WALTER LEAL; QUELHAS, OSVALDO L.G.. COVID-19 and decent work: A bibliometric analysis. *WORK-A Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation*. Fator de Impacto(2023 JCR): 1,7000, v.1, p.1 - 9, 2022. Citações: Citações a partir de 1996 9 | Citações a partir de 1996.

12. MATSUTANI, LETÍCIA; RAMPASSO, IZABELA SIMON; SERAFIM, MILENA PAVAN; QUELHAS, OSVALDO L.G.; LEAL FILHO, WALTER; ANHOLON, ROSLEY. Critical analysis of corporate social responsibility projects

developed by Brazilian companies: Providing new insights for debates. Cleaner Engineering and Technology. v.7, p.100412 - 100420, 2022. Citações: Citações a partir de 1996 7 | Citações a partir de 1996.

13. VIANA, LAZARO; RAMPASSO, IZABELA SIMON; PAVAN SERAFIM, MILENA; Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves; LEAL FILHO, WALTER; ANHOLON, ROSLEY. Critical analysis of the role of junior enterprises in the training of future professionals aligned with the SDG: an exploratory study considering Brazilian HEI. International Journal of Sustainability in Higher Education. Fator de Impacto(2023 JCR): 3,0000, v.23, p.1 - 15, 2022.

14. MOREIRA, Otacilio; RODRIGUEZ, MARTIUS; QUELHAS, O L G; SERGIO TEIXEIRA. KNOWLEDGE MANAGEMENT PRACTICES IN A REFERENCE HOSPITAL - FROM DIAGNOSIS TO RESULTS. A CASE STUDY. INTERNATIONAL JOURNAL OF HEALTH SCIENCE. v.1, p.1, 2022.

15. TORRES, LUIS F.; ANHOLON, ROSLEY; RAMPASSO, IZABELA SIMON; QUELHAS, OSVALDO L. G.; LEAL FILHO, WALTER; SILVA, DIRCEU. Perception of shop floor employees regarding senior management support in lean projects and its relationship with initiatives success. Revista de administração da UFSM. v.15, p.1 - 14, 2022.

16. Martins, Vitor William Batista; ANHOLON, ROSLEY; Quelhas, Osvaldo Luiz Gonçalves; LEAL FILHO, WALTER. Roadmap to enhance the insertion of social sustainability in logistics systems. THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTIVITY AND PERFORMANCE MANAGEMENT. Fator de Impacto (2023 JCR): 3,6000, v.1, p.1 - 21, 2022.

17. RAMPASSO, I. S.; QUELHAS, O L G; GANGA, G. M. D.; SERAFIM, M. P.; SIMÃO, V. G.; COSTA, L. F. M.; ANHOLON, R.. Sustainability practices in manufacturing companies: analysis of an emerging economy. Benchmarking. Fator de Impacto(2023 JCR): 4,5000, v.-, p.1 - 26, 2022.

**B-** Mérito acadêmico e intelectual, originalidade e relevância do projeto para o desenvolvimento científico, tecnológico ou social do país ,considerando adicionalmente seus potenciais impactos e caráter inovador.

Nas linhas de proposta , no doutorado e no Mestrado, desenvolve propostas voltadas à formação de modelos de Organizações Sustentáveis, com estudos e aplicações metodológicas nas organizações, associados ao planejamento e gestão de sistema de

produção, com o objetivo de gerar conhecimento para uma sociedade onde se faz presente a necessidade de modelos e estruturas de apoio à decisão organizacional qualificados, diferenciados, associados às Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas e Ciências Humanas. Aspectos como Design e Ergonomia, Qualidade, Meio Ambiente, Responsabilidade Social, ética, transparência, Políticas Públicas, Eficiência Energética, Eco eficiência na produção, Saúde e Segurança do Trabalhador. Também são realizados estudos das tecnologias das manufaturas 5.0 , sua aplicação e consequências sociais e tecnológicas. Igualmente estão sendo desenvolvidas soluções com a Utilização de IA ,aplicáveis aos sistemas de gestão sustentáveis. Tem-se promovido encontros dos discentes e docentes com os setores na UFF que acompanham a obtenção de registro no INPI, visando gerar produtos técnicos e tecnológicos. Coordena Palestras técnicas sobre propriedade intelectual e como registrar patentes e registros de software , realizadas com cada turma de alunos novos.

Organizador do CNEG Congresso Nacional de Excelência em Gestão, promove articulação entre UFF, CEFET RJ, INPI, IBP, IFF CAMPOS, INMETRO e a FIRJAN Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, até 2024.Sendo que o CNEG é realizado anualmente na sede da FIRJAN, tendo sido incorporado ao calendário anual dessa instituição.

No contexto da adequação da produção intelectual, tem efetuado esforços para garantir uma produção científica qualificada (periódicos das bases Scopus e WoS), que podem ser identificados no CV: <http://lattes.cnpq.br/9953503354410892> .

Em 2012 a 2015, fui indicado pelo reitor da UFF, Sidney Mello, para ser o presidente da FEC Fundação Euclides da Cunha de apoio à UFF, instituição com atuação em apoio à proposta na UFF. Foi excelente oportunidade em reconhecer necessidades detalhadas de proposta de toda a Universidade. Um projeto relevante que coordeno em 2024 constitui-se de 'Seminários para Divulgação dos Conceitos dos ODS para Professores e Alunos de Escolas de Nível Básico da Região de Niterói'. Visa promover ações educativas e de conscientização sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O projeto é financiado pela Proppi, Pro Reitoria de pós graduação , proposta e inovação. O projeto pretende capacitar estudantes e professores da educação básica, abrangendo escolas de Niterói e São Gonçalo. A relevância acadêmica do projeto está na disseminação dos princípios dos ODS, alinhando a formação escolar com as metas globais da Agenda 2030 das Nações Unidas. A iniciativa fortalece a integração entre universidade e comunidade, promovendo a conscientização sobre sustentabilidade,



responsabilidade social e educação cidadã. O público-alvo inclui alunos e professores do ensino infantil, fundamental e médio, que, através dos seminários, adquirirão conhecimentos essenciais para a prática de ações sustentáveis e de transformação social em suas comunidades. Os resultados esperados incluem a criação de um efeito multiplicador, onde professores e alunos se tornam agentes disseminadores dos princípios dos ODS.

O caráter inovador reside no fato de que o proponente estuda e aplica as tecnologias que são capazes de aperfeiçoar processos, reduzir perdas, contribuir para diminuição de gastos energéticos, dentre outros benefícios (Kunkel e Matthes, 2020 e Rajput e Singh, 2020). Essas vantagens são motores importantes no processo de implementação da economia circular e da sustentabilidade em processos, serviços e atividades comerciais, por exemplo (Del Giudice et al., 2021; Walter Colombo, Karnouskos e Hanisch, 2021).

A combinação dos princípios da economia circular, da sustentabilidade e da digitalização pode contribuir para uma maior vantagem competitiva nos negócios em uma organização. Assim, pensar em economia circular e em sustentabilidade a partir da transformação digital, é fundamental para se manter competitivo num mercado que exige constante flexibilidade e renovação (Salminen, Ruohomaa e Kantola, 2017; Vaska et al., 2021).

Rajput e Singh (2020) explicam que na busca por uma melhoria considerável no uso de recursos, prevenção de desperdícios ou reutilização de produtos ou componentes, foram desenvolvidas estratégias avançadas de fabricação integradas a sistemas de aquisição de dados, dentre outros recursos tecnológicos no contexto da transformação digital. Para os autores, as tecnologias fornecem bases para alcançar uma produção e um consumo sustentáveis que minimizam desperdícios, o consumo de energia e a deterioração ambiental. Tenho me dedicado, igualmente a propor a transformação digital que tornou-se a rota de muitas empresas para atingir os objetivos de sustentabilidade. Apesar de sua importância contemporânea, no entanto, a proposta existente em transformação digital e economia circular dá pouca ênfase na questão da sustentabilidade (Alhawari et al. 2021; Alkaraan et al. 2022). É necessário pensar a sustentabilidade em economia circular nas três dimensões (ambiental, social e econômica). Em particular, a compreensão das potencialidades da economia circular e transformação digital é a base para maximizar o valor de sustentabilidade obtido dos negócios (Hedberg e Šipka, 2021; Spaltini et al., 2021).

Apesar dos avanços acadêmicos em direção a uma maior compreensão dos benefícios das tecnologias para a consolidação de um modelo circular e sustentável, existem poucos construtos de estudo como modelos, *frameworks* e produção tecnológica, por exemplo, que sejam capazes de explorar as sinergias entre esses temas (Riesener et al., 2019; Rossi, Bianchini e Guarnieri, 2020, Di Vaio et al., 2022; Atif, 2023) para entregar algum conhecimento mais tangível à comunidade científica e à sociedade. Em outras palavras, faltam construtos de proposta como modelos, *frameworks* e produção tecnológica, por exemplo, que sejam capazes de reunir esses temas (Di Vaio et al., 2022; Gundu et al., 2022; Atif, 2023).

Essa lacuna tem ficado ainda mais evidente pelo advento da indústria 5.0 que traz a sustentabilidade como um dos seus pilares centrais (Babkin et al, 2022; Dwivedi et al., 2023). É importante compreender esses sincronismos já que é crescente a demanda por equilibrar o desempenho ambiental, social e econômico dos negócios para se sustentar no mercado competitivo (Atif, 2023; Dwivedi et al., 2023). Além disso, compreender as potencialidades da economia circular e da transformação digital é a base para maximizar o valor da sustentabilidade obtido com os negócios (Alkaraan et al. 2022). Conforme as exigências de sustentabilidade aumentam, há uma maior necessidade de transparência e adequação dos processos organizacionais à modelos circulares com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e sociais (Turner et al., 2022).

O meu H scopus = 27, resultado da integração com vários grupos de proposta e compartilhamento de competencias em publicação com qualidade nos periódicos com impacto.

**C-** Contribuição do proponente para a formação de recursos humanos altamente qualificados.

Desde 1992 até 2024, o Desenvolvimento e coordenação do LATEC Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente: sendo responsável pela criação e condução de em torno de 10 cursos de pós-graduação lato sensu, que formaram em torno de 5000 pessoas, nas áreas de economia e finanças, Qualidade Total, Gestão de Pessoas, desenvolvimento sustentável, ecoeficiência e gestão energética, gestão de edifícios sustentáveis. No desenvolvimento de sua carreira desenvolveu e iniciou em 2001, o “Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão”, formou em torno de 2000 mestres, que atualmente exercem funções importantes nas hierarquias de empresas como Petrobras, Vale, Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro, Peugeot, Mercedes Benz, Banco

do Brasil, Banco Central. Parte dos egressos atua como docentes em Universidades privadas no Brasil. Em 2014 iniciou a primeira turma de Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis. Tendo, até 2024, formado em torno de 80 doutores, que hoje ocupam funções como gestores em instituições privadas e públicas e na docência em Universidades públicas e privadas no Brasil.

Organizador do CNEG Congresso Nacional de Excelência em Gestão, com articulação entre UFF, CEFET RJ, INPI, IBP, IFF CAMPOS, INMETRO e a FIRJAN Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, até 2024. Sendo que o CNEG é realizado anualmente na sede da FIRJAN, tendo sido incorporado ao calendário anual dessa instituição.

Não basta formar recursos humanos, tem-se que reconhecer os que se superam, os que se aplicam. O professor Osvaldo L G Quelhas coordena o prêmio concedido pela ABQ Academia Brasileira da Qualidade, denominado Medalha “ABQ Mérito à Qualidade João Mario Csillag”, A Academia Brasileira da Qualidade - ABQ é uma associação não governamental, sem fins lucrativos, que tem por missão contribuir para o desenvolvimento do conhecimento em engenharia da qualidade, em gestão da qualidade e da inovação e em excelência da gestão, para benefício das organizações e da sociedade brasileira. A ABQ instituiu a medalha “ABQ Mérito à Qualidade João Mario Csillag”, para reconhecer autores de trabalhos produzidos por profissionais de Instituições de ensino, de proposta e de organizações públicas, privadas e do terceiro setor, bem como outros autores independentes, que tenham contribuído, de modo destacado, para a Qualidade ou sua Gestão no Brasil.

No contexto da proposta, na etapa de “*Validação e disseminação dos resultados obtidos*”, pretende-se estabelecer uma série de eventos e *workshops* empresariais, no último ano do projeto, para fomentar a interação entre organizações e a universidade, de maneira a disseminar os resultados da proposta, formar profissionais conscientes e capazes de facilitar e guiar a sustentabilidade e a economia circular em organizações que disponham de tecnologia 5.0. Esta última etapa visa também consolidar um grupo de proposta de referência para a sustentabilidade e a economia circular em organizações.

**D-** Cooperação com grupos de proposta ou instituições no país e no exterior, e participação ou coordenação de projetos e redes de proposta.

O proponente participa de grupos de estudos e produção científica em redes internacionais e nacionais. Podem ser ressaltados as redes estruturadas com a participação

dos professores: Rodrigo Caiado é Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Ele é também Propostador do Instituto Tecgraf (PUC-Rio) e Professor do Mestrado Profissional em Logística (MPL) do DEI PUC-Rio. Rodrigo possui Pós-Doutorado em Engenharia Industrial pela PUC-Rio (2020), Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (2021), Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis pela UFF (2018), Mestrado em Engenharia Civil pela UFF (2015) e Graduação em Engenharia de Produção pela UFF (2012). Ele é co-autor de mais de 40 artigos publicados em periódicos internacionais revisados por pares e com alto rigor científico. Seus interesses de pesquisa incluem a transformação digital (Indústria 5.0) na Gestão de Operações e de Cadeia de Suprimentos, assim como a integração de tecnologias digitais e os pilares da Sustentabilidade a partir do uso de técnicas de inteligência computacional (IC) e modelos de apoio multicritério à decisão (MCDM).

Rosley Anholon (professor na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM); Gestão de Operações, Sustentabilidade e Incubação de Empresas. Coordenador do Laboratório de Propostas em Ensino de Engenharia e Gestão (LAPEG); Daniel Nascimento é professor e proponente na Universitat de Barcelona, Espanha. Ele possui um PhD em Sistemas de Gestão Sustentáveis pela Universidade Federal Fluminense (2019) e um MSc em Negócios Internacionais. Daniel é conhecido por suas propostas em gestão sustentável, mudanças climáticas e energia renovável. Ele é também um dos coordenadores do programa de doutorado na Escola de Negócios da Universitat de Barcelona; Walter Leal é professor e diretor do Centro de Proposta e Transferência em Desenvolvimento Sustentável e Mudanças Climáticas na Universidade de Ciências Aplicadas de Hamburgo (HAW Hamburg), Alemanha. Doutor em Filosofia (DPhil), Ciências (DSc), Educação (DEd) e Letras (DL). Walter Leal é conhecido por seu trabalho em desenvolvimento sustentável, mudanças climáticas, energia renovável e ciências da vida. É editor-chefe da Enciclopédia dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas e fundador do Programa Internacional de Proposta e Informação sobre Mudanças Climáticas (ICCIRP), Izabela Simon Rampasso é professora e proponente na Universidad Católica del Norte (UCN), no Chile. Possui graduação em Ciências Econômicas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (2014), Mestrado (2017) e Doutorado (2019) em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), com ênfase em Materiais e Processos de Fabricação. Izabela realizou pós-doutorado na Universidade Federal Fluminense (2019-2021) e desenvolve propostas nas

áreas de sustentabilidade, ensino de engenharia e gestão de sistemas produtivos. Ela colabora com instituições como a Universidade de Hamburgo, Universidade de Sherbrooke e Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile e Luis Antonio De Santa-Eulalia é Professor Associado na Universidade de Sherbrooke, Escola de Gestão, Canadá, na área de Gestão de Operações. Ele possui PhD em Engenharia de Produção pela Université Laval, MSc pela Universidade de São Paulo e graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos<sup>1</sup>. É conhecido por suas propostas em Gestão de Operações, Gestão de Cadeia de Suprimentos, Sustentabilidade, Transformação Digital & Indústria 5.0, Modelagem & Simulação e Educação. Ele é cofundador do grupo de proposta IntelliLab.org e da rede de proposta Collaborative Research Network on Supply Chain 5.0 (SupplyChain4.org). Possui mais de 170 artigos publicados em periódicos internacionais e participa de diversos grupos de proposta no Brasil, Canadá e França.

O Prof. Osvaldo L. G. Quelhas é um dos membros do “Sustainability Centres Community”, que possui vários núcleos internacionais, associados à sustentabilidade vinculados. liderado pela Universidade de Hamburgo, Alemanha. Esse é um núcleo de apoio à conformação de redes entre proponentes para apoio ao compartilhamento de produção científica.

**E-** Atuação em sociedades científicas e editoria de periódicos no país e no exterior, atuação em gestão científica, prêmios, condecorações e outras distinções considerando sua fase profissional.

Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas é D. Sc. pela UFRJ, Coppe (1994), professor e proponente na área de Engenharia de Produção e Sistemas de Gestão Sustentáveis na Universidade Federal Fluminense (UFF). Experiência na área de Planejamento e Controle da Produção e Sistemas de Gestão Sustentáveis.

Atuação em Sociedades Científicas e Editoria de Periódicos:

- Presidente da ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção) nos mandatos 2006-2007 e 2008-2010;
- ANPEPRO Associação Nacional de Pós Graduação e Proposta na Engenharia de Produção, participa da atual diretoria (desde 2023);

- Editor Convidado do International Journal of Environment and Sustainable Development (IJESD), Edição Especial em 2013;
- Editor Convidado do Social Responsibility Journal, Edição Especial em 2013;
- Vice Editor da Revista BJOPM - Brazilian Journal of Operations and Production Management (ISSN:2237-8960) / ABEPRO, até 2023;
- Editor da revista BJOPM, a partir de 2024;
- Convite para elaboração de apresentação do “Guest editorial: Latin American perspectives on sustainability in higher education”;
- A Edição Especial para o qual fomos convidados para escrever o prefácio da edição, evidencia importantes iniciativas que estão contribuindo para o desenvolvimento sustentável dos países latino-americanos. Os artigos publicados nesta Edição Especial avaliam as experiências de aprendizagem dos alunos e suas preocupações com a sustentabilidade, avaliam os impactos das instituições de ensino superior (IES) na sustentabilidade, avaliam a relação entre o conhecimento de sistemas produtivos e a sustentabilidade na gestão das IES, fornecem diretrizes e exemplos para as IES desenvolverem iniciativas relacionadas à sustentabilidade, entre outras contribuições.

Acreditamos que todo o conhecimento e experiências apresentados nesta Edição Especial irão contribuir para expandir os debates e fortalecer os esforços em direção ao desenvolvimento sustentável na América Latina. Izabela Simon Rampasso Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile.

Autores convidados: Rosley Anholon School of Mechanical Engineering, State University of Campinas, Campinas, Brazil; Osvaldo Luiz Gonçalves Quelhas Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, Brazil; Luis Velazquez Department of Industrial Engineering, Division of Engineering, University of Sonora, Hermosillo, Mexico, and; Claudia Mac-Lean GAIA Antarctic Research Center, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

- Em 2021 fui EDITOR CONVIDADO PARA “SUSTAINABILITY JOURNAL” - EDIÇÃO ESPECIAL: “THE FIFTH INDUSTRIAL REVOLUTION AND SUSTAINABILITY”;
- Em 2023 convidado para atuar como editor convidado na edição especial de Logistics (ISSN 2305-6290). Temática abordada: "Sustainability and Reverse Logistics". **Prof. Dr. Rodrigo Goyannes Gusmão Caiado**, EDITOR CONVIDADO, Institute of Technical-Scientific Software Development, Pontifical Catholic University of

Rio de Janeiro, Tecgraf / PUC-Rio Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, Brazil;

- *Chief Guest Editor*

**Prof. Dr. Osvaldo Luiz Goncalves Quelhas E-Mail Website** *Co-Guest Editor*,  
Department of Production Engineering, Federal Fluminense University, Niterói, Brazil  
**Interests:** sustainable development; sustainable practices in logistics systems; circular economy; reverse logistics;

- *Special Issues, Collections and Topics in MDPI journals*

**Prof. Dr. Luiz Felipe Scavarda E-Mail Website - Co-Guest Editor**,  
Department of Industrial Engineering, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 22453-900, Brazil  
**Interests:** sustainable supply chain management; reverse logistics; sales and operations planning.

- *Special Issues, Collections and Topics in MDPI journals*

**Referencias:** Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., & Caiado, R. G. G. (2019). Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production*, 233,

Caiado, R.G.G., Scavarda, L.F., Gavião, L.O., Ivson, P., Nascimento, D.L.M., & Garza-Reyes, J.A. (2021). Fuzzy rule-based industry 5.0 maturity model for manufacturing and supply chain management operations. *International Journal of Production Economics*, 231,

Julianelli, V., Caiado, R.G.G., Scavarda, L.F., Cruz, S.P.M.F. (2020). Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. *Resources Conservation And Recycling*, 158,.

Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Rocha-Lona, L., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 5.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

- Em 2022 convite para **Editor Convidado** na edição especial com temática: **“PROGRESS IN INDUSTRIAL ECOLOGY”**, no **IJETM - IJ OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY AND MANAGEMENT** ([www.inderscience.com/ijetm](http://www.inderscience.com/ijetm)).
- Em 2022, **Editor convidado principal** da edição especial **"Sustentabilidade e Educação 5.0"**, na revista **SUSTAINABILITY**;
- **Membro em corpo editorial:** FRONTIERS IN SMART MANUFACTURING; INTERNACIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT, MANAGEMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY : AN INTERNATIONAL JOURNAL; GESTÃO & PRODUÇÃO; BRAZILIAN JOURNAL OF AQUATIC SCIENCE AND TECHNOLOGY; ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION NETWORK; BRAZILIAN JOURNAL OF OPERATIONS AND PRODUCTION MANAGEMENT; INTERNATIONAL JOURNAL FOR QUALITY RESEARCH; BRAZILIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION.
- **Vice Editor da Revista BJOPM** - Brazilian Journal of Operations and Production Management (ISSN:2237-8960) / ABEPRO, até 2023.
- **Editor da revista BJOPM** - Brazilian Journal of Operations and Production Management (ISSN:2237-8960) / ABEPRO a partir de 2024.
- **Membro de Bancas de Doutorado e Mestrado** em diversas instituições, como PUC-Rio, UNICAMP, COPPE/UFRJ, PUC PR, UFSC, UNIFEI, UFMG, UFBA, UFAM, UFSC, UTFPr, entre outras.
- **Coordenação de Redes de cooperação** em proposta e publicação científica com Faculty of Education at North-West University (South Africa); Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona, Spain); Manchester Metropolitan University (South Africa); Department of Environment and Planning , Faculty of Architecture - Damascus University (República Árabe, Síria); Department of Environmental Science, University of Latvia, (Raina, Latvia); Faculty of Philosophy, University of Belgrade, (Belgrade, Serbia).
- **Atuação em Gestão Científica:**
  - Coordenador do Doutorado em Sistemas de Gestão Sustentáveis na UFF desde 2013 até 2023.
  - Vice Coordenador do Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão do



Departamento de Engenharia de Produção, UFF. (gestão atual a partir de 2023).

- Coordenador do Convênio entre UFF e Universidade Politécnica de Madrid.

### **Prêmios, Condecorações e Outras Distinções:**

- Bolsa de Produtividade em Proposta CNPq, Edital / Chamadas: PQ 2012, 2021, 2018, 2015.
- Prêmio Lâurea ao Mérito CREA RJ, 2013.
- Convite para ser Juiz do Prêmio VITAE SEGURANÇA DO TRABALHO, SECONCI RJ (2010, 2011, 2012, 2013).
- Representante da academia no Conselho de Responsabilidade Social e Sustentabilidade do IBP Instituto Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis.
- Condecorado em 2008, pela Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro com a “Medalha Tiradentes” (a mais alta condecoração da Assembleia Legislativa do Estado), pela trajetória de desenvolvimento científico no Estado do Rio de Janeiro.
- Em 2008, recebeu o “Prêmio Jabuti”, na categoria Livro Técnico, outorgado pela “Câmara Brasileira do Livro” pela publicação do Livro “Introdução à Engenharia de Produção”, tendo contribuído com o capítulo “Responsabilidade Social e a Engenharia de Produção”.

### **Outras Contribuições**

- **Em 2008 recebeu o “Prêmio Jabuti”,** concedido pela Câmara Brasileira do Livro, na categoria de “**Livro técnico**”.
- **Organizador e Autor** de Diversos Livros e Capítulos de Livros, incluindo "Planejamento e Controle da Produção" (Editora Elsevier Campus, 2008), finalista do Prêmio Jabuti/CBL Câmara Brasileira do Livro na categoria Ciência & Tecnologia em 2009.
- *Em 2022* estabeleceram-se redes de proposta, lideradas globalmente pela Universidade de SHARBROOKES, Canadá. AS redes já formadas são lideradas por: Elias Ribeiro da Silva , Universidade do Sul da Dinamarca ; Luis Antonio de Santa-Eulalia , Université de Sherbrooke ; Ieda Kanashiro , Unicamp; Paulo Ignacio , Unicamp; Rui Yoshino , UTFPR; Francisco Giocondo César , IFSP; Rupy Sawhney , Universidade do Tennessee; Anjali Awasthi , Concordia University e Elaine Mosconi , Université de Sherbrooke.

## **OBJETIVOS DO PROJETO PROPOSTO**

### **Objetivos geral e específicos a serem alcançados:**

O objetivo principal desta proposta é examinar em organizações, com profundidade, as convergências de práticas de sustentabilidade e da economia circular no ambiente organizacional e tecnológico da Indústria 5.0.

A proposta ganha significativa importância e originalidade ao considerá-la no cenário socioeconômico de economias emergentes, no Brasil e demais países dos BRICS, nos quais existem barreiras e desafios sociotécnicos similares.

A partir do objetivo geral de proposta, desdobram-se os objetivos específicos a seguir:

Como objetivos específicos destacam-se: a) analisar conceitos e práticas de sustentabilidade e economia circular em comum às organizações a partir da inserção das tecnologias oriundas da quarta revolução industrial; b) verificar a potencial sinergia ou dissidência entre a implementação da sustentabilidade e da economia circular em ambientes organizacionais e tecnológicos da Indústria 5.0; c) desenvolver grupo de proposta para o estudo dessas abordagens.

## **MÉTODO DE PROPOSTA**

A caracterização metodológica dessa proposta é eminentemente exploratória. Além disso, deve ser ressaltada a natureza prática e orientada à problemática indicada, o que requer abordagem investigativa e empírica. Os resultados esperados para este projeto incluem a validação empírica em profundidade do relacionamento entre as práticas de sustentabilidade, da economia circular e das tecnologias de Indústria 5.0.

Para viabilizar este projeto, o método proposto está organizado segundo cinco fases: Iniciação, Planejamento, Execução, Controle e Encerramento.

As etapas previstas estão organizadas seguindo a proposta pelo PMBOK® para a gestão de projetos (PMI, 2021):

### **➤ INICIAÇÃO:**

Nesta etapa estão previstas as atividades de contatos: contato com organizações que participarão da proposta e apresentação do propósito da proposta para os participantes. Entre os resultados esperados tem-se a divulgação das etapas, ressaltando o

comprometimento de todos os envolvidos.

➤ **PLANEJAMENTO:**

Durante esta fase serão revisados o planejamento das atividades e o cronograma de atividades estabelecido. As atividades desta fase incluem a definição de responsáveis pelas diversas etapas, definições do cronograma das atividades e dos mecanismos de comunicação e de controle (avaliando-se riscos, qualidade, tempo, recursos humanos e custos). O resultado esperado é a definição dos mecanismos de operacionalização das atividades previstas, definindo responsabilidades.

➤ **EXECUÇÃO:**

A fase de execução do projeto está organizada em seis etapas: (i) Análise Conceitual da convergência e da aplicação das tecnologias da Indústria 5.0 , da economia circular e dos princípios atualizados do desenvolvimento sustentável; (ii) Construção de um “*Framework*” conceitual demonstrando a convergência entre a sustentabilidade ,a economia circular e as Tecnologias da Indústria 5.0, utilizando-se o MÉTODO SODA (STRATEGIC OPTIONS AND DEVELOPMENT ANALYSIS) para a construção do “framework” ; (iii) Levantamento das Características e Contextos das Organizações a serem incluídas no Estudo ; (iv) Adaptação do método aos contextos e características das organizações; (v) Aplicação do método nos casos em estudo; (vi) Validação e disseminação dos resultados obtidos.

(i) *Análise Conceitual das tecnologias da Indústria 5.0 , da economia circular e dos princípios atualizados do desenvolvimento sustentável;*

**Objetivo:** Identificar a literatura referente à Indústria 5.0, as convergências das contribuições das tecnologias da indústria 5.0 para a sustentabilidade e a economia circular.

**Método:** Para a execução da proposta, primeiro deverão ser aprofundados os conceitos sobre Indústria 5.0 e a correlação com a implantação da sustentabilidade e da economia circular. Além disso, buscar-se-á maior entendimento quanto às barreiras (tecnológicas, de infraestrutura e socioculturais) existentes para a aplicação das tecnologias da Indústria 5.0. Assimsendo, nesta primeira etapa se realizará uma revisão sistemática da literatura nas principais bases de dados de periódicos científicos (ISI Web

of Knowledge, Science Direct, Springer, Wiley e Scielo) , utilizando como suporte a análise bibliométrica. Os artigos pertinentes ao tema serão selecionados e analisados.

Posteriormente será realizada uma proposta qualitativa e quantitativa para agrupar os elementos identificados na literatura em diferentes classificações.

O objetivo é o de criar uma taxonomia que relacione as diferentes características da utilização das tecnologias da indústria 5.0 com as funções necessárias à sustentabilidade e a economia circular. Para isso serão utilizadas técnicas de grupos focados com acadêmicos especialistas na área para analisar as convergências e a confrontação com os conceitos apresentados na literatura. Finalmente, os resultados serão validados por profissionais seniores.

**Resultados da etapa:** Definição de uma taxonomia para as tecnologias da Indústria 5.0 associadas à sustentabilidade e a economia circular .

(ii) *Construção de um “Framework” demonstrando a convergência entre a sustentabilidade ,a economia circular e as Tecnologias da Indústria 5.0;*

**Objetivo:** O “framework” pretende identificar como e quais as tecnologias da Indústria 5.0 permitem contribuir no desempenho operacional das organizações brasileiras, considerando-se a economia circular e a sustentabilidade. Além disso, pretende-se compreender o efeito das barreiras na implantação das tecnologias da Indústria 5.0 e seu impacto sobre os desafios existentes para implementação de sustentabilidade e da economia circular.

**Método:** Levantamento de literatura sobre o tema nas principais publicações, nacionais e internacionais, relacionadas à área e estudo de casos em organizações.

Produto da etapa: *Framework* conceitual das relações entre as tecnologias da Indústria 5.0, as práticas de sustentabilidade e da economia circular. Pretende-se utilizar o MÉTODO SODA (STRATEGIC OPTIONS AND DEVELOPMENT ANALYSIS) para a construção do framework.

Cabe destacar que para padronizar a nomenclatura dos profissionais entrevistados, adota-se a expressão “especialista sênior” para mencionar o profissional a ser entrevistado para elaboração do mapa SODA e classificação prévia dos indicadores de circularidade e da sustentabilidade. Já a expressão “especialista” é adotada com referência aos profissionais(especialistas) a serem consultados nas entrevistas estruturadas.

(iii) *Levantamento das Características e Contextos dos estudos de caso a serem incluídos no Estudo;*

**Objetivo:** Esta etapa considera a consolidação das características significativas e fatores contextuais dos casos estudados de modo a possibilitar a seleção dos que serão incluídos no estudo.

**Método:** Com os dados levantados será realizada uma análise de clusters, buscando classificar os respondentes em diferentes grupos com características comuns. Nesta etapa será realizado o primeiro seminário previsto no projeto. Durante este evento serão analisadas as práticas e tecnologias encontradas na literatura. Neste seminário será realizado um grupo focado com especialistas acadêmicos e profissionais das organizações que serão estudadas, com o objetivo de estabelecer um ranking das práticas de sustentabilidade, economia circular e tecnologias de Indústria 5.0 de acordo com sua eficiência e aplicabilidade, e elencar possíveis indicadores e condicionantes para cada associação. Com relação ao contexto, pretende-se utilizar quatro variáveis de controle: (i) tamanho das empresas, conforme sugerido por Shah e Ward (2003); (ii) experiência da empresa com a implementação da sustentabilidade e da economia circular, como apontado anteriormente por Marodin et al. (2015); (iii) o setor industrial no qual a empresa atua, conforme indicado por Marodin e Saurin (2013); e (iv) o nível da cadeia de suprimentos em que a empresa está situada, conforme indicado por Marin, Garcia et al. (2009).

**Produto da etapa:** Consolidação das características e fatores contextuais importantes e utilização destes como critério para definição do conjunto de casos a serem incluídas no estudo.

(iii) *Adaptação do método aos contextos e características das organizações;*

**Objetivo:** Esta etapa considera a consolidação das características significativas e fatores contextuais das organizações de modo a possibilitar a seleção de organizações e definição do conjunto de organizações a serem incluídas no estudo. Além disso, a partir desta consolidação, será possível estruturar a amostragem de modo a cobrir de forma mais extensa as variabilidades contextuais existentes, bem como as diferenças nas maturidades de implementação de sustentabilidade e da economia circular.

**Método:** Será realizada análise da composição dos *clusters* e os resultados serão discutidos em grupos focados, com propositores da área. Nesta etapa será realizado o

primeiro seminário previsto no projeto. Neste seminário será realizado um grupo focado com especialistas acadêmicos e profissionais das organizações com o objetivo de estabelecer um *ranking* das práticas de sustentabilidade, da economia circular e de utilização das tecnologias de Indústria 5.0 .

**Produto da etapa:** Consolidação das características e fatores contextuais importantes e utilização destes como critério para definição do conjunto de organizações a serem incluídas no estudo.

(iv) *Aplicação do método nos estudos de caso;*

**Objetivo:** A quinta etapa propõe aplicar e testar os princípios da sustentabilidade e da economia circular em organizações que possuem experiência na aplicação de tecnologias da indústria 5.0 , para avaliar a sua adequação e realizar os ajustes necessários.

**Método:** O método utilizado nesta etapa é o estudo de caso (multi-casos), com processos de implantação de sustentabilidade e da economia circular, segundo o conjunto de passos propostos por Yin (2001).

**Produto da etapa:** avaliar o desempenho na implantação de sustentabilidade e da economia circular, testada e ajustada em casos particulares de organizações brasileiras com tecnologia 5.0.

(v) *Validação e disseminação dos resultados obtidos.*

**Objetivo:** A última etapa tem como propósito estabelecer uma série de eventos e *workshops* empresariais, no último ano do projeto, para fomentar a interação entre organizações e a universidade, de maneira a disseminar os resultados da proposta, formar profissionais conscientes e capazes de facilitar e guiar a sustentabilidade e a economia circular em organizações que disponham de tecnologia 5.0. Esta última etapa visa também consolidar um grupo de referência para a sustentabilidade e a economia circular em organizações .

**Método:** pretende-se contatar organizações parceiras .

**Produto da etapa:** Consolidar um grupo de referência para a sustentabilidade e economia circular, no ambiente organizacional e tecnológico da indústria 5.0.

## ➤ **CONTROLE**

Para a execução de todas as etapas, são estabelecidas as seguintes atividades: controle integrado das alterações da proposta, verificação do escopo e das suas alterações, controle do cronograma, dos custos e relatório de desempenho. Ainda relacionado ao controle, estão incluídas as entregas parciais, de acordo com as etapas, a submissão das publicações em periódicos e eventos técnico-científicos.

## ➤ **ENCERRAMENTO DO PROJETO**

A fase final de gestão da proposta é sua avaliação, apresentando as vantagens obtidas a partir da aplicação da metodologia prevista. Para tal, serão realizadas sessões de reflexão, formalização e compartilhamento do conhecimento adquirido de acordo com abordagem LAMDA (*Look-Ask-Model-Discuss-Act*) (DOMB; RADEKA, 2009).

## ➤ **RESULTADOS ESPERADOS.**

Como resultados, espera-se que este estudo proporcione a formação e capacitação em âmbitos gerencial e acadêmico; fomento ao conhecimento científico, tecnológico, compartilhando os conhecimentos adquiridos a partir de publicação de trabalhos científicos em congressos e periódicos. A inovação será materializada com a produção e registro no INPI de software para avaliação da convergência entre economia circular, sustentabilidade e as tecnologias da indústria 5.0.

Esta investigação não apenas se destaca por sua relevância para o desenvolvimento teórico conceitual e as práticas profissionais de gestão de operações, mas também visa a contribuir significativamente para o avanço dos indicadores relacionados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Destacam-se, especialmente, os seguintes ODS (disponíveis em <https://odsbrasil.gov.br/>):

- ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestruturas: Busca a construção de infraestruturas resilientes, a promoção da industrialização inclusiva e sustentável, bem como o estímulo à inovação.

- ODS 12 - Consumo e produção sustentáveis: Tem como meta garantir padrões de produção e consumo que sejam ambientalmente sustentáveis, promovendo práticas responsáveis.

- ODS 17 – Parcerias e meios de implementação: Foca em fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável,

ênfatizando a colaboraçaõ como um pilar essencial. Ao abordar esses objetivos específicos, almeja nã apenas expandir o conhecimento acadêmico, mas também fornecer insights práticos que contribuam efetivamente para o progresso dessas metas ambiciosas, consolidando, assim, nosso compromisso com o desenvolvimento sustentável e a promoçaõ de práticas operacionais mais éticas e responsáveis.

## RELEVANCIA E IMPACTO DO PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO,TECNOLOGICO OU DE INOVAÇÃO

### **As principais contribuições científicas, tecnológicas ou de inovaçaõ da proposta sãõ:**

- Formaçaõ e Capacitaçaõ de Recursos Humanos - o projeto contribui para a formaçaõ de jovens propositadores na área de Engenharia de Produçaõ, permite a participaçaõ de alunos de graduaçaõ com atividades de implementaçaõ de sustentabilidade, da economia circular e tecnologias de Indústria 5.0 nas organizações. Além disso, a participaçaõ de profissionais das organizações permite a capacitaçaõ de mãõ de obra para implementar práticas e tecnologias mais eficientes e competitivas nas organizações;
- Fomento ao Desenvolvimento da sustentabilidade, da economia circular e do conhecimento das tecnologias da indústria 5.0 .O projeto tem como principal benefício capacitar as organizações na melhoria de processos e implementaçaõ de seus processos de gestãõ sustentável;
- Além de sua contribuiçaõ teórica, essa proposta fornece aplicações gerenciais que podem ajudar os líderes e profissionais das organizações a compreender as sinergias entre sustentabilidade , economia circular e as tecnologias da Indústria 5.0 . Além disso, a compreensãõ da relaçaõ entre essas abordagens ajuda a antecipar as dificuldades ocasionais e estabelece as expectativas adequadas ao longo da implementaçaõ da sustentabilidade e da economia circular na era da quarta revoluçaõ industrial, fornecendo diretrizes para aplicaçaõ.

### DEMAIS INFORMAÇÕES RELEVANTES SOBRE O PROJETO A SER DESENVOLVIDO:

O proponente participa de grupos de estudos e produçaõ científica em redes



internacionais e nacionais. Podem ser ressaltados as redes estruturadas com a participação dos professores Daniel Nascimento (Universidade de Barcelona) , Walter Leal( Universidade de Hamburgo), Izabela Simon Rampasso Departamento de Ingenieria Industrial, Universidad Catolica del Norte, Antofagasta, Chile e Luis Antonio De Santa-Eulalia, Ph.D. Universidade de Sherbrooke, Canadá.

### **Grupo de proposta desenvolvimento de produtos e serviços em cadeias de suprimentos sustentáveis.**

A Integração da Cadeia de Suprimentos (“Supply Chain Integration”(SCI)) e o desenvolvimento de produtos e serviços sustentáveis na cadeia de suprimentos têm modificado de forma substantiva as estratégias e o gerenciamento da cadeia de suprimentos (“Supply Chain Management” – SCM), em um contexto de economias globalizadas, de crescente complexidade, incerteza e riscos de rupturas . O Grupo contempla 3 temas de propostas: (i) integração da cadeia de suprimentos, seus efeitos diretos e de contingência no desempenho da fornecedores de serviços e produtos ; (ii) o desenvolvimento sustentável de produtos e serviços, que respondam ao tripé da sustentabilidade: econômico, social e ambiental e (iii) Desenvolvimento de economia circular no contexto das cadeias de suprimentos.

Localiza-se na sala 322 do 3 andar do Bloco E, Escola de Engenharia, UFF.  
Responsável: prof. Osvaldo L. G. Quelhas, D.Sc.

Salientam-se algumas ações que demonstram o caráter de integração entre a academia e os sistemas de produção em âmbito local, regional e nacional, que representam parcerias Universidade-Empresa:

- Parceria UFF - Universidade Petrobras: composição para ministrar treinamento focado em Responsabilidade Social Organizacional, desenvolvendo competências e habilidades de proposta e amadurecimento gerencial em pessoal da Petrobras;
- Eleito como “Acadêmico”, para a ABQ (Associação Brasileira da Qualidade): na organização e fornecimento de conteúdo para difusão e consolidação dos conceitos da Qualidade organizacional;
- Participação no Programa no Conselho Gestor do Projeto “Conexões éticas do Terceiro Setor”, a convite da ONU e da PETROBRAS (gestoras do Projeto);

- Organização de eventos de cooperação e difusão técnica referente à produção enxuta com o LABORATÓRIO B. BRAUN, NITERÓI, RJ;
- Organização de eventos de cooperação e difusão técnica referente à produção enxuta com a empresa BENTELER, PORTO REAL, RJ;
- Organização de eventos de cooperação e difusão técnica referente à produção enxuta com a empresa PEUGEOT/CITROEN, PORTO REAL, RJ;
- Organização de eventos de cooperação e difusão técnica referente à produção enxuta com a empresa MAN-VOLKSWAGEN, RESENDE, RJ;
- IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis): composição como membro efetivo de Comissão de Responsabilidade Social e Sustentabilidade, colaborando com outras empresas da cadeia produtiva do petróleo, gás e biocombustíveis na implantação de modelos de gestão organizacionais com ética, responsabilidade socioambiental e bom desempenho econômico;
- Participa e também colabora para a comunidade, participando de bancas de mestrado e doutorado; bancas de seleção de seleção para professor; como avaliadores ad hoc de órgãos de fomento como CAPES, CNPq, Fundação FAPERJ, Associação Brasileira de Engenharia de Produção-ABEPRO; na Coordenação de Linhas Temática da ABEPRO; na organização de eventos científicos; na realização de palestras em eventos e em várias IES;
- Desde 2013, anualmente, realizam-se dois eventos de cunho científico e técnico: INOVARSE (Inovação em Responsabilidade Social Empresarial) e oCNEG (Congresso Nacional de Excelência em Gestão), ambos na sede da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro;
- Cooperação com a CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) na formação de especialistas em sistemas de gestão;
- Cooperação com o JBRJ (Jardim Botânico do Rio de Janeiro), na formação de especialistas em sistemas de gestão;
- Cooperação com o CEFET/RJ, na formação de Mestres para atuação em sistemas de gestão;
- Editor do Jornal BJOPM Brazilian Journal / ABEPRO, a partir de 01 de janeiro de 2024; numa primeira etapa de gestão, quando assumi a Editoria pela Primeira vez,

alcansei a indexação do BJOPM / Abepro nas bases Scopus e WoS. Assim como desenvolvi gestão do periódico de maneira que o mesmo se tornou o Principal meio de publicação ( com mais indexações e índice de impacto superior) dentre os periódicos mantidos pela ABEPRO.

- Acordo de cooperação técnica e científica com a ABAR ASSOCIAÇÃO DAS AGENCIAS DE REGULAMENTAÇÃO NO BRASIL, ABAG ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO AGRO NEGÓCIO, ANFAVEA, ANT, EMPRESA ÁGUAS DO BRASIL.

## **APÊNDICE A – REVISÃO DA LITERATURA**

### **ECONOMIA CIRCULAR**

O conceito de economia circular ganhou a atenção de propositores acadêmicos, empresas e entidades governamentais nos últimos anos. O conceito de economia circular é abrangente e pode ser compreendido como um sistema regenerativo no qual a otimização de recursos, o reaproveitamento de resíduos e a integração energética são maximizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos ciclos de material e energia (Trevisan et al., 2021b).

Esse conceito de economia circular contrasta com o conceito de economia linear. O modelo circular é oposto ao modelo econômico linear em que a cadeia produtiva se concentra na extração de recursos, produção de bens e descarte de rejeitos. Já o modelo da economia circular contempla uma orientação a recursos, ou seja, a criação de valor é considerada a partir da fonte de matéria prima (Trevisan et al., 2021b). Nesse sentido, a economia circular, diferentemente do modelo linear, visa avançar para um sistema mais sustentável buscando manter produtos e materiais em uso (Godsiff e Wood, 2021).

Buscando uma conceituação da economia circular, Alhawari et al. (2021) analisaram 91 artigos e concluíram que a economia circular é um conjunto de processos e planejamento organizacional para criar, entregar produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade para clientes e para sociedade por meio da utilização eficaz e eficiente do sistema, economia e dos ciclos de produtos, fechando ciclos para todos os fluxos de recursos relacionados.

Kirchherr, Reike e Hekkert (2017) analisaram 114 artigos para analisar as definições do conceito de economia circular dadas pela literatura. Os autores concluíram que as quatro palavras mais empregadas para definir economia circular são: reutilizar, reduzir, reciclar e recuperar. Portanto, segundo os referidos autores, a economia circular pode ser entendida como um sistema econômico que substitui o conceito de fim de vida pela redução, reutilização, reciclagem e valorização de materiais nos processos de produção/distribuição e consumo. O objetivo final é alcançar a sustentabilidade, criando simultaneamente uma cultura amigável ao ambiente, riqueza econômica e equidade social.

Essas concepções são defendidas por alguns autores que defendem a economia circular como uma economia restauradora e regenerativa que visa manter materiais, componentes e produtos em sua maior utilidade e valor (Biachini et al., 2018; El Hilali e

El Manouar, 2019). A economia circular representa uma transição sistêmica que pode construir resiliência de longo prazo, gerar oportunidades de negócios, vantagens econômicas e proporcionar benefícios ambientais e sociais (Voulgaridis, Lagkas e Sarigiannidis, 2022; Atif, 2023).

Além disso, o conceito de economia circular está também atrelado à otimização da utilização de recursos e insumos (Kristoffersen et al., 2021). A economia circular consegue essa dissociação da criação de valor do consumo de recursos finitos, alavancando uma série de estratégias orientadas para a eficiência, produtividade e restauração para manter produtos, componentes e materiais em uso por mais tempo ou para que sejam reaproveitados em novos ciclos (Alkaraan et al., 2021; Ilic et al., 2021). Essas estratégias podem criar valor, gerar receita, reduzir custos, gerar resiliência e criar legitimidade (Sarc et al., 2019).

Ainda no âmbito da conceituação de economia circular, inicialmente uma definição de economia circular utilizada por alguns autores era a de um modelo essencialmente composto por 3 fases (3R's): reciclar, reduzir e reutilizar (Lieder e Rashid, 2016; Genovese et al., 2017). Entretanto, diversos autores levantaram algumas críticas ao modelo 3R's apontando que tal modelo é mais aplicável a empresas únicas ou sistemas de cadeia de suprimentos única, devido ao relacionamento direto da cadeia de suprimentos (Bianchini et al., 2018).

Assim, para cadeias de suprimentos mais complexas e sistemas logísticos maiores seria mais adequado um modelo 6R's: redesenho, reutilização, reforma, remanufatura, reciclagem, recuperação. Assim, esses seriam os 6 estágios do fluxo circular construídos numa concepção de modelo de negócios adaptável a diversas realidades e tamanhos (Sarc et al., 2019; Ozkan-Ozen, Kazancoglu e Kumar Mangla, 2020).

Outros autores continuaram a amadurecer e ampliar esse modelo 6R's e propuseram o modelo dos 12R's: recuperação energética (Pollard et al., 2022), reciclagem, como processamento de produtos e componentes visando a reutilização (Dwivedi et al., 2023), reaproveitamento de produtos e/ou componentes (Varriale et al., 2023), remanufatura que consiste em novos produtos ou partes feitas a partir de outros produtos ou componentes (Atif, 2023), restauro de produtos e componentes para serem "tão bom como os novos" (Pollard et al., 2022), reparação através de restauro e manutenção preventiva, combinada ou não com redesenho e digitalização (Lindgreen et al., 2022), reutilização de produtos, componentes, ou materiais processados antes ou após o restauro (Ilic et al., 2021), redução do uso de material virgem (Atif, 2023), redesenhar

um produto ou componente para a circularidade (Kristoffersen et al., 2021), recusar ou prevenir o uso de material virgem (Voulgaridis, Lagkas e Sarigiannidis, 2022), restituir produtos e componentes (Lindgreen et al., 2022) e, finalmente, revender ou promover a revenda de materiais (Lindgreen et al., 2022).

Diante dessas 12 palavras que sustentam o conceito de economia circular, é possível sintetizar que a economia circular é um ciclo de desenvolvimento contínuo que otimiza o rendimento dos recursos e minimiza os riscos do sistema gerenciando estoques finitos e fluxos renováveis (Salminen, Ruohomaa e Kantola, 2017). Essa otimização requer uma mudança sistêmica profunda, capaz de gerar mudanças duradouras nas organizações (Türkeli e Schophuizen, 2019).

Mesmo com esses benefícios discutidos anteriormente, Bianchini et al. (2018) reconhece as dificuldades na implementação da economia circular. Para os autores as principais barreiras à implementação da economia circular podem ser divididas em 3 tipologias: Barreiras técnicas (estão relacionados à tecnologia inadequada, falta de suporte técnico e treinamento e disseminação limitada de inovação nas economias emergentes e nos países desenvolvidos); barreiras econômicas, financeiras e de mercado (referem-se a altos custos iniciais e de transação, cadeias de suprimentos internacionais complexas, falhas na cooperação da empresa e retorno e lucro incertos) e por fim, barreiras institucionais, regulatórias, sociais e culturais (incentivos desalinhados, falta de sistema legal propício, estrutura institucional precária, rigidez do comportamento do consumidor e rotinas empresariais).

Diante desses desafios, Godsiff e Wood (2021) defendem a necessidade de uma maior integração nos processos. Os autores defendem um modelo “asa de borboleta” em que uma das asas representa os recursos renováveis (por exemplo, energia, alimentos e materiais) e a outra asa está relacionada a materiais não renováveis ou finitos (por exemplo, máquinas, veículos e mercadorias). Os dois lados estão ligados pelo corpo da borboleta que representa a integração dos processos pela cadeia de suprimentos/processos de transformação ou fabricação de peças, fabricação de produtos acabados e, ainda, prestação de serviços.

Para Ilic et al. (2022) as organizações precisam pensar nas “duas asas de borboleta” para a manutenção da competitividade, superação dos desafios e assim manter as posições de liderança existentes, conquistando novas posições diante do aumento da concorrência em vários setores e da escassez de recursos. Para que as empresas possam lidar com esse aumento da concorrência e com a escassez, é necessário reinventar e

adaptar constantemente seus produtos e processos de negócios para obter vantagem sobre a concorrência, garantindo uma melhor posição.

Uma das formas de superação de desafios e obter vantagens se dá através das tecnologias que tem apoiado os processos e negócios circulares.

Propostadores e profissionais insistem em agregar provisões tecnológicas e adotar uma estratégia circular dentro de seu modelo de negócios para se sustentarno mercado (Voulgaridis, Lagkas e Sarigiannidis, 2022; Atif, 2023).

A utilização de recursos tecnológicos para incrementar a economia ciruclar ajudou a promover a inovação de produtos e a geração de valor técnico articulado em estratégias orientadas a valor. O modelo econômico circular, quando fundido com as tecnologias, transforma as máquinas em equipamentos inteligentes que melhoram a gestão, a manutenção e o desempenho. Assim, a economia circular evoluiu para uma abordagem digital sustentável, capaz de serimplementada em diferentes cenários (Ilic et al., 2022; Voulgaridis, Lagkas e Sarigiannidis, 2022).

Essa evolução deu origem à concepção de economia circular digital, ou seja, as tecnologias digitais e a economia circular implementados em uma abordagemunificada. Diferentes tipos de produtos no estágio de produção podem ser otimizados, aumentando a vida útil, melhorando a qualidade, rastreando o ciclo de uso, a localização e o status da condição para estratégias adequadas de tomada de decisão. Outro impacto potencializador das funcionalidades é a utilização dos dados, nas etapas de coleta, análise e integração. Tais benefícios promovem a criação e implementação de sistemas industriais e de manufatura descentralizados, apoiando a colaboração entre as partes interessadas e clientes (Voulgaridis, Lagkas e Sarigiannidis, 2022).

## **TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INDÚSTRIA 5.0**

A transformação digital move uma organização a interagir com seus clientes e otimizar serviços e produtos oferecidos aos clientes. A transformação digitalenvolve uma organização inovando sua estratégia organizacional com base na adoção de novas tecnologias. Todos os componentes da organização são afetados pelo processo de transformação, incluindo seu modelo operacional, modelo de negócios, estratégia digital e seu relacionamento com seus clientes (Godsiff e Wood, 2021).

Nos últimos anos, as tecnologias digitais emergentes revolucionaram a forma como as organizações em todo o mundo desenvolvem modelos de negócios e capacidades

(Belhadi et al., 2021), além disso, a transformação digital trouxe consigo processos mais eficientes, minimização de custos, maior confiabilidade, *design* eficaz e melhor controle da gestão (Ozkan-Ozen, Kazancoglu e Kumar Mangla, 2020).

No que tange ao conceito de transformação digital, Gong e Ribiere (2021) revisaram 134 definições e concluíram que a transformação digital é um processo de mudança fundamental, possibilitado pelo uso inovador de tecnologias digitais acompanhadas pela alavancagem estratégica de recursos-chave e capacidades, visando melhorar radicalmente uma entidade e redefinir sua proposta de valor para seus stakeholders. Em outras palavras, essa integração das tecnologias digitais nos processos de negócios, portanto, pode ser chamada de transformação digital.

Akundi et al. (2022), Alkaraan et al. (2022) e Zizic et al. (2022) esclarecem que a integração de tecnologias nos processos pode ser feita de forma pontual sem a preocupação de agregar valor ao stakeholder, então nesse caso, diz-se que se tem uma digitalização e não uma transformação digital em si. Porém, quando se faz a utilização e integração de recursos tecnológicos diversos nos processos com o intuito de agregar valor aos negócios, então se tem a transformação digital.

Essa integração das tecnologias oferece oportunidades para agregar produtos e serviços além das fronteiras funcionais, organizacionais e geográficas.

Como consequência, essas tecnologias digitais aumentam o ritmo de mudança e levam a uma transformação significativa em vários setores (Vaska et al., 2021). Assim, a transformação digital pode significar mudanças significativas em processos por meio da integração de tecnologias de informação, computação, comunicação e conectividade (Vial, 2019; Roos, Kubina e Farafonova, 2021).

Além disso, cabe também ressaltar que o conceito de transformação digital caracteriza não apenas a mudança na qualidade dos modelos de negócios baseados em tecnologias digitais, mas também o relacionamento entre os diversos *stakeholders* direta ou indiretamente envolvidos na produção de produtos e serviços (Roos, Kubina e Farafonova, 2021). A transformação digital prevê a consistência dessas relações e a universalidade necessária para impulsionar ações concretas (Pecarelli, 2019). No âmbito dessas relações está a experiência do cliente que pode ser melhorada a partir da transformação digital cooperando na evolução dos modelos de negócios das empresas. Novas formas de alcançar clientes e novos tipos de valor poderiam resultar de um modelo de negócios digital (El Hilali e El Manouar, 2019).

Nessa linha da evolução dos modelos de negócios, por meio da transformação



digital, o uso de novas tecnologias, como por exemplo, computação em nuvem, *big data* e internet das coisas com cada vez mais inteligência e automação, as organizações puderam capitalizar novos negócios, conquistar novos clientes e obter oportunidades de otimização (Salminen, Ruohomaa e Pöykkö, 2016; Pencarelli, 2019).

O processo de transformação digital trouxe consigo a exigência de mudanças nas organizações como, por exemplo, o redesenho dos processos de negócio, o investimento em capacitação de recursos humanos e infraestrutura e o incremento de capacidades organizacionais. As organizações se depararam com a possibilidade de adoção de tecnologias digitais para melhorar a eficiência, minimizar custos e inovar (Ghobakhloo, 2020; Bai, Quaysona e Sarkis, 2021).

Essas mudanças também estão sendo experimentadas no setor manufatureiro. O advento dos recursos tecnológicos impactou a organização e a dinâmica dos processos industriais conduzindo a um maior nível de automação para produtividade e eficiência operacional, através da conexão dos mundos virtual e físico culminando na quarta revolução industrial ou indústria 5.0 (Akundi et al., 2022). A transformação digital foi o grande fator que contribuiu para as mudanças que levaram à era da indústria 5.0 (Alkaraan et al., 2022).

A concepção de indústria 5.0 foi introduzida no evento Hannover Fair 2011 na Alemanha pelo grupo de trabalho sob mandato da Research Union Economy Science do Ministério Federal da Educação e Proposta da Alemanha (Alkaraan et al., 2022). A indústria 5.0 é a quarta revolução industrial que envolve a transformação digital de todos os mercados industriais e de consumo, desde o advento da manufatura inteligente até a digitalização de canais inteiros de entrega de valor (Ghobakhloo, 2020; Alkaraan et al., 2022) Indústria 5.0 e transformação digital, embora sejam movimentos correlatos, não podem ter os seus conceitos confundidos. Na verdade, a indústria 5.0 é a transformação digital acontecendo no plano industrial, ou seja, é a automação industrial e a integração de diferentes tecnologias com propósito de promover a digitalização das atividades industriais, melhorando os processos e aumentando a produtividade (Ozkan-Ozen, Kazancoglu e Kumar Mangla, 2020; Vaska et al., 2021). A transformação digital é ampla e não abrange somente o setor industrial, mas diversos setores da economia através da aplicação de tecnologias provedoras de soluções gerando a interoperabilidade entre organizações e sistemas (Margherita e Braccini, 2020).

Assim, a indústria 5.0 essencialmente significa uma integração de alta tecnologia aos processos fabris, enquanto a transformação digital acontece quando se está inserida a

interoperabilidade, isto é, quando vários componentes de uma rede de valor, como sistemas de controle, equipamentos, máquinas inteligentes, materiais, produtos inteligentes, clientes conectados, sistemas de decisão, recursos humanos, dentre outros, podem se conectar, comunicar e compartilhar dados de maneira coordenada (Bai, Quaysona e Sarkis, 2021).

Apesar dos seus diversos benefícios, a indústria 5.0 não respondeu satisfatoriamente ao aumento da personalização (Akundi et al., 2022). Em outras palavras, as organizações perceberam a necessidade de agilidade na organização para envolver a tecnologia no cumprimento das aspirações dos clientes (Zizic et al., 2022). Dessa maneira, um próximo passo da revolução industrial era necessário dada a alta demanda do consumidor por individualização do produto (Lachvajderova e Kadarova, 2022). Essa demanda por contato humano aumenta gradualmente, à medida que os consumidores expressam sua individualidade por meio dos produtos que compram. Isso delineia um novo tipo de personalização com a qual os negócios precisam lidar (Varriale et al., 2023).

Além dessa questão da personalização e da experiência do cliente, a indústria 5.0, embora tenha apoiado o desenvolvimento sustentável a nível organizacional (por exemplo, eficiência energética e de recursos consumidos), ignorou algumas questões de sustentabilidade como a lacuna digital, a autonomia no local de trabalho e o consumo (Varriale et al., 2023). O paradigma da Indústria 5.0 não pôde ser aplicado para uma transformação industrial sustentável e para resolver problemas sociais, econômicos e ambientais atuais, faltando-lhe características específicas como a promoção do bem-estar social e prevenção de desastres ambientais. Essa nova perspectiva deu origem à agenda da Indústria 5.0, que integra as vantagens tecnológicas da Indústria 5.0 com os objetivos sustentabilidade econômica, social e ambiental (Akundi et al., 2022; Lachvajderova e Kadarova, 2022; Zizic et al., 2022).

Os críticos do paradigma da Indústria 5.0 enfatizaram sua orientação para novas tecnologias e digitalização de forma tecnocrática. O novo paradigma industrial 5.0 surgiu muito cedo e automaticamente desencadeou um debate sobre o papel e as razões para a aplicação do novo paradigma. A Indústria 5.0 vem complementar o paradigma existente da Indústria 5.0 com a orientação para o trabalhador que tem um papel importante no processo produtivo. No aspecto técnico, a Indústria 5.0 melhorou a interação homem-máquina, mas as transformações tecnológicas da Indústria 5.0 deram pouca importância ao papel central dos funcionários. Conseqüentemente, a ideia da Indústria 5.0 surgiu como

a extensão da Indústria 5.0 com dimensão social e ambiental. Por um lado, a Indústria 5.0 está focada nas habilidades, conhecimentos e habilidades dos trabalhadores para cooperar com máquinas e robôs e, por outro lado, nas flexibilidades nos processos de produção e no impacto ambiental (Alkaraan et al., 2022; Zizic et al., 2022).

A Indústria 5.0 reconhece a capacidade da indústria de cumprir objetivos sociais além do emprego e do desenvolvimento, de se tornar uma fonte sustentável de desenvolvimento, fazendo com que a produção respeite as limitações do nosso planeta e priorize a saúde dos funcionários. A Indústria 5.0 contribui para atualização tecnológica exigida pela indústria. Prioriza o bem-estar do trabalhador e emprega novas tecnologias para gerar desenvolvimento, respeitando as restrições do planeta (Akundi et al., 2022).

O termo Indústria 5.0 foi cunhado para abordar a fabricação personalizada e centrada nos seres humanos nos processos de fabricação. Observa-se que o surgimento do termo Indústria 5.0 possui várias visões de como ela é definida e o que constitui a reconciliação entre humanos e máquinas (Akundi et al., 2022). A Indústria 5.0 foi projetada para estabelecer cooperação sólida, não competição, entre humanos e máquinas, sendo de fato uma adição evolutiva às tecnologias da Indústria 5.0 destinadas a fortalecer a cooperação entre humanos e tecnologias para garantir uma indústria sustentável, centrada no ser humano e resiliente (Babkin et al., 2022).

Entretanto, a Indústria 5.0 não se baseia somente em tecnologia, mas em princípios como o foco no ser humano, a gestão ambiental e o benefício social (Akundi et al., 2022). A Indústria 5.0 é um conceito que busca tornar a indústria mais sustentável, centrada no ser humano e resiliente podendo ser vista como um movimento para abordar a resiliência de infraestrutura, a preocupação com os funcionários e a consideração de questões ambientais (Lachvajderova e Kadarova, 2022; Turner et al., 2022). De acordo com Madhavan et al. (2022), esse processo de transformação nas indústrias levará da revolução tecnológica da Indústria 5.0 à revolução “tecno-social” da Indústria 5.0 (Madhavan et al., 2022).

Portanto, a indústria 5.0 possui três pilares: a sustentabilidade, a resiliência e a centralidade no ser humano (Akundi et al., 2022). A indústria 5.0 aproveita as atividades de redução e prevenção de resíduos em todas as fases da rede da cadeia de suprimentos buscando equilibrar o desempenho ambiental, social e econômico dos negócios para alcançar sustentabilidade no mercado competitivo de hoje (Atif, 2023). A indústria 5.0 integrou o recurso de resiliência como seu elemento central para obter processos e plantas mais robustos, cadeias de suprimentos mais resilientes e maior capacidade de atender aos

*stakeholders* (Zizic et al., 2022; Atif, 2023). Por fim, a abordagem centrada nos seres humanos visa que a tecnologia permita que os trabalhadores da indústria aprimorem suas habilidades e conhecimentos a partir da colaboração entre a tecnologia e inteligência humana (Varriale et al., 2023). O objetivo é alavancar a criatividade de especialistas humanos em colaboração com máquinas eficientes, inteligentes e precisas para obter soluções de fabricação eficientes em termos de recursos e preferidas pelo usuário (Turner et al., 2022).

Assim, os componentes tecnológicos da Indústria 5.0 são as tecnologias emergentes e capacitadoras já presentes na Indústria 5.0. Embora essas tecnologias sejam utilizadas desde a terceira revolução industrial, elas podem ser empregadas de forma eficaz para promover a transformação digital e sustentável da Indústria 5.0 (Varriale et al., 2023). Dentre as tecnologias estão, por exemplo: internet das coisas, computação em nuvem, *big data*, sistemas ciberfísicos, inteligência artificial, *machine learning*, *blockchain*, dentre outros (Alkaraan et al., 2022).

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado por Cagno et al. (2021) e Atif (2023), um conjunto de 20 tecnologias são as mais aplicáveis no contexto da economia circular e da indústria 5.0: *additive manufacturing*; *artificial intelligence (AI)*; *augmented reality*; *big data*; *blockchain*; *cloud computing*; *computer vision*; *cyber-physical systems*; *data analytics*; *edge computing*; *Enterprise Resource Planning (ERP)*; *Internet of Services (IoS)*; *Internet of Things (IoT)*; *machine learning*; *robotics*; *semantic technologies*; *system simulation*; *tracking systems*; *virtual reality*; *Wireless Sensor Network (WSN)*. Essas 20 tecnologias são especialmente úteis para uma organização de produção que precisa de aumentar a circularidade nos seus negócios. O quadro 1 contém breves definições dessas 20 tecnologias mencionadas.

**Quadro 1** - Breves definições de algumas tecnologias da transformação digital.

TECHNOLOGY	SHORT DESCRIPTION
Additive manufacturing	Additive manufacturing (AM) is defined by the ASTM society as “a process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies” (Alkaraan et al., 2022).
Artificial intelligence (AI)	Artificial intelligence is the simulation of human intelligence processes by machines, especially computer systems (Ávila-Gutiérrez et al., 2020; Ilić et al., 2022).
Augmented reality	Augmented reality (AR) is an enhanced version of the real physical world that is achieved through the use of digital visual elements, sound, or other sensory

	stimuli and delivered via technology (De Miranda et al., 2021; Akarsu, 2023).
Big Data	Big data is a term that describes large, hard-to-manage volumes of data – both structured and unstructured – that inundate businesses on a day-to-day basis (Ávila-Gutiérrez et al., 2020; Maiurova et al., 2023).
Blockchain	Blockchain technology is an advanced database mechanism that allows transparent information sharing within a business network. A blockchain database stores data in blocks that are linked together in a chain (Bai, Quaysona e Sarkis, 2021; Maiurova et al., 2023).
Cloud Computing	Cloud computing is on-demand access, via the internet, to computing resources— applications, servers (physical servers and virtual servers), data storage, development tools, networking capabilities, and more—hosted at a remote data center managed by a cloud services provider (or CSP) (Alkaraan et al., 2022; Akarsu, 2023).
Computer vision	Computer vision is a field of artificial intelligence (AI) that enables computers and systems to derive meaningful information from digital images, videos and other visual inputs — and take actions or make recommendations based on that information (De Miranda et al., 2021; Okorie et al., 2023).
Cyber-Physical Systems	Cyber-physical systems generally combine sensor networks with embedded computing to monitor and control the physical environment, with feedback loops that allows this external stimulus to self-activate either communication, control or computing (Ávila- Gutiérrez et al., 2020; Okorie et al., 2023).
Data analytics	Data analytics is the science of analyzing raw data to make conclusions about that information (De Miranda et al., 2021; Akarsu, 2023)
Edge Computing	Edge computing allows devices in remote locations to process data at the "edge" of the network, either by the device or a local server (Akarsu, 2023).
Enterprise resource planning (ERP)	Enterprise resource planning (ERP) is a platform companies use to manage and integrate the essential parts of their businesses. ERP is a type of software system that helps organizations automate and manage core business processes for optimal performance (Okorie et al., 2023).
Internet of services (IoS)	The Internet of Services (IoS) is a concept that refers to the interconnection and integration of various services over the internet, allowing them to work together seamlessly to provide a complete solution (Ghobakhloo, 2020; Maiurova et al., 2023).
Internet of things – IoT	The Internet of Things (IoT) describes the network of physical objects (“things”) that are embedded with sensors, software, and other technologies for the purpose of connecting and exchanging data with other devices and systems over the internet (Margherita e Braccini, 2020; Akarsu, 2023).
Machine Learning	Machine learning is a branch of artificial intelligence (AI) and computer science which focuses on the use of data and algorithms to imitate the way that humans learn, gradually improving its accuracy (Ghobakhloo, 2020; Maiurova et al., 2023).

Robotics	Robotics is a branch of engineering and computer science that involves the conception, design, manufacture, and operation of robots (Margherita e Braccini, 2020; Okorie et al., 2023).
Semantic technologies	Semantic Technologies provide easier ways to find, share, reuse and combine information (Ghobakhloo, 2020; Akarsu, 2023; Okorie et al., 2023).
System simulation	System simulation is the process of experimenting with and studying how changes to characteristics of a complex system (or sub-system) impact the system as a whole. Advanced simulation software uses mathematical algorithms to predict and illustrate the impact of proposed system changes (Sartal et al., 2020; Akarsu, 2023).
Tracking systems	A tracking system, also known as a locating system, is used for the observing of persons or objects on the move and supplying a timely ordered sequence of location data for further processing (Margherita e Braccini, 2020; Ilić et al., 2022).
Virtual reality	Virtual reality is the term used to describe a three-dimensional, computer generated environment which can be explored and interacted with by a person (De Miranda et al., 2021).
Wireless sensor network (WSN)	Wireless Sensor Network (WSN) is an infrastructure-less wireless network that is deployed in a large number of wireless sensors in an ad-hoc manner that is used to monitor the system, physical or environmental conditions (Rajput e Singh, 2020; Ilić et al., 2022; Akarsu, 2023).

Fonte: Elaboração própria com base nas referências citadas no quadro.

As tecnologias auxiliam a interação e a troca de informações em prol de uma produção mais ágil por meio da exploração em tempo real de grandes quantidades de dados (Ilić et al., 2022). Para tal é necessário um dinamismo nos processos de produção para conectar estruturas físicas e recursos tecnológicos (tais como sistemas ciberfísicos, internet das coisas, manufatura aditiva e *big data*) para que a troca de informações não se limite apenas a máquinas, mas inclua conexões homem-máquina. Assim, pessoas, processos de fabricação e cadeias de valor inteiras são conectados (Belhadi et al., 2021).

Essa conexão homem-máquina envolve a exploração de grandes quantidades de dados, o que exige cada vez mais tecnologia (Salminen, Ruohomaa e Kantola, 2017; Akarsu, 2023). As organizações podem otimizar as operações existentes para obter melhorias significativas nos negócios a partir das tecnologias existentes (computação em nuvem e *big data*, por exemplo) para empreender uma coleta de grande quantidade de dados dispersos, agrupando-os para análise, visualizando-os para tomada de decisão e usando os dados selecionados no desenvolvimento e execução de novos serviços (Okorie

et al., 2023). A otimização de operações e a execução de novos serviços exigem a integração dos sistemas de produção com tecnologias (internet das coisas e internet dos serviços, por exemplo) para alcançar mais flexibilidade e sustento de uma produção que envolva troca massiva de dados entre estações de trabalho e células inteligentes com mecatrônica e sensores (Sartal et al., 2020). Algumas indústrias estão atualmente experimentando um sistema de manufatura orientado a dados que requer recursos tecnológicos que possibilitem a interconexão entre sensores inteligentes e comandos automáticos (Rajput e Singh, 2020).

Esse aparato tecnológico traz vantagens evidentes conforme discutido nos parágrafos anteriores. Entretanto, alguns autores discutiram impactos desse processo de transformação digital. O aumento da automação pode passar para as máquinas as tarefas operacionais e de tomada de decisão aumentando a produtividade e a eficiência, enquanto os trabalhadores humanos lidam com o mau funcionamento das máquinas e problemas inesperados (Margherita e Braccini, 2020). As tecnologias podem auxiliar na geração de melhores condições de trabalho e melhoria da segurança no ambiente de trabalho (Ghobakhloo, 2020; Maiurova et al., 2023).

Por outro lado, todo o aparato tecnológico interconectado e cada vez mais autônomo está cada vez mais tomando decisões com o mínimo de envolvimento humano e, isso, pode gerar a eliminação da maioria dos empregos menos qualificados e, ao mesmo tempo, criar menos oportunidades de emprego em várias áreas (Ghobakhloo, 2020). Além disso, o aumento da automação também pode levar à redução do trabalho humano no processo de produção, o que pode contribuir para o desaparecimento de empregos, a redução da especialização e a perda de *know-how* nas organizações. Mesmo não substituindo pessoas por robôs, as tecnologias podem contribuir para o empobrecimento da força de trabalho, pois sistemas ciberfísicos automatizados, por exemplo, assumem tarefas desempenhadas por trabalhadores humanos (Margherita e Braccini, 2020). Além desses impactos sociais, existem os efeitos ambientais diretos do uso de recursos e energia ao longo do ciclo de vida das tecnologias, ou seja, produção (materiais), uso (consumo de energia) e descarte (acúmulo de lixo eletrônico) das mesmas (Kunkel e Matthes, 2020). Os efeitos ambientais indiretos resultam da aplicação das tecnologias em outros bens e serviços. Em contrapartida, no que diz respeito à eficiência de recursos na produção industrial, as tecnologias têm sido discutidas como capacitadoras para reduzir o uso de recursos em diferentes contextos (Alkaraan et al., 2022).

Rajput e Singh (2020) apresentam a questão do *trade-off* existente entre custos *versus* consumo de energia elétrica quando uma organização adota as tecnologias da transformação digital. Os autores explicam que uma das maiores despesas na aplicação da transformação digital é o consumo de energia. Esse custo contribui para aumentar o custo total dos produtos e, portanto, pode diminuir o grau de competitividade dos fabricantes. A questão central reside em buscar alternativas para aumentar a eficiência energética e diminuir os custos em fábricas inteligentes de forma a otimizar o consumo de energia e potencializar a transmissão de dados nos processos.

Outra crítica feita pela literatura na questão da transformação digital é a segurança da informação diante das possíveis vulnerabilidades dos sistemas tecnológicos que podem gerar a interceptação, interrupções e falhas dos sistemas (Moller, 2020). A segurança cibernética é um desafio significativo, uma vez que as tecnologias envolvem uma grande quantidade de compartilhamento de dados e interconexão entre *stakeholders* e processos. Portanto, uma alta dependência da segurança de dados devido à sensibilidade e vulnerabilidade dos dados, além do gerenciamento inadequado de dados, é identificado como um desafio (Ozkan-Ozen, Kazancoglu e Kumar Mangla, 2020).

No cenário da transformação digital também há o desafio da necessidade de altos investimentos e a falta de clareza na definição de quaisquer retornos sobre os potenciais investimentos que devem ser feitos (Alkaraan et al., 2022). Em muitas ocasiões, a aceitação organizacional da transformação digital só é possível com uma compreensão clara de sua importância estratégica, o que requer preparo das equipes e constante estudo e atualização (Akarsu, 2023; Okorie et al., 2023).

## **SUSTENTABILIDADE**

A sustentabilidade tem um conceito amplo que aborda diversos aspectos. A sustentabilidade não se limita a ambientalismo, pois envolve também fatores econômicos e sociais. As Nações Unidas definem a sustentabilidade como um movimento visando a garantia de bem-estar para todos, incluindo para futuras gerações, visando abordar questões globais como justiça, desigualdade, paz, mudança climática, poluição e degradação ambiental. (Ghobakhloo, 2020; Ilic et al., 2021).

A sustentabilidade pode ser entendida como um conjunto de sistemas que visam garantir o uso dos recursos naturais sem diminuir a qualidade de vida, reduzir as oportunidades econômicas ou gerar impactos negativos na saúde humana, na sociedade ou no meio ambiente (Salminen, Ruohomaa e Kantola, 2017; Voulgaridis, Lagkas e



Sarigiannidis , 2022; Atif , 2023). A sustentabilidade também é a criação de produtos por meio de processos que minimizem tanto os impactos ambientais negativos quanto o consumo de energia e de recursos naturais, sendo também processos seguros para funcionários, comunidades, consumidores e, ainda, processos economicamente viáveis (Kristoffersen et al., 2021). Não pode haver sustentabilidade sem competitividade, e não pode haver competitividade duradoura sem sustentabilidade. E não haverá nenhum deles sem um salto importante em inovação (Voulgaridis, Lagkas e Sarigiannidis, 2022; Atif, 2023).

Em 1987 em um relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi apresentado um conceito de desenvolvimento sustentável como um modelo de desenvolvimento capaz de suprir as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades (Alkaraan et al., 2021; Roos, Kubina e Farafonova, 2021). Desde então, o conceito de desenvolvimento sustentável foi estendido para reconhecer suas dimensões ambientais, sociais e econômicas, para incorporar imperativos de negócios como parte das estratégias de sustentabilidade corporativa e para abranger uma ampla gama de recursos humanos (Lindgreen et al., 2022; Pollard et al., 2022).

As organizações passaram a reconhecer o desenvolvimento sustentável como um dos motores emergentes da competição e como uma fonte significativa de oportunidade e risco para vantagem competitiva de longo prazo, e desenvolveram estratégias corporativas de desenvolvimento sustentável (Jones e Wynn, 2021).

Uma vasta literatura tem se dedicado a estudar sobre questões relativas à sustentabilidade e a academia tem dado uma contribuição significativa para a conceituação e materialização dos seus três pilares fundamentais: ambiental, econômico e social (Kamble, Gunasekaran e Gawankar, 2018; Rossi et al., 2022). Alguns dos principais impulsionadores que levam as empresas a considerar as três dimensões da sustentabilidade (meio ambiente, economia e sociedade) em sua concepção, produção, logística e marketing são as expectativas de *stakeholders*, cada vez mais conscientes da sustentabilidade e que exigem transparência; legislação e normas cada vez mais exigentes em termos de sustentabilidade; benefícios econômicos derivados de uma maior aceitação de produtos e redução de custos devido ao menor consumo de recursos (Sartal et al., 2020).

O pilar ambiental da sustentabilidade está principalmente relacionado com a manutenção do equilíbrio dos sistemas ambientais da Terra, o equilíbrio do consumo de

recursos naturais e a reposição e integridade ecológica, preservando os recursos ambientais (Khuntia et al., 2018). Já o pilar social da sustentabilidade passa pelo reconhecimento e gerenciamento dos aspectos positivos e negativos de negócios nas pessoas e se relaciona com a manutenção de comunidades saudáveis e habitáveis há proteção da discriminação e acesso a direitos humanos universais e comodidades básicas, como segurança ou saúde (Ghobakhloo, 2020). Por fim, o pilar econômico requer um sistema capaz de contemplar a viabilidade econômica e financeira tendo em conta a integridade ambiental e o respeito às questões sociais (Sartal et al., 2020).

Dessa forma, compreende-se o conceito do *Triple Bottom Line* da Sustentabilidade, isto é, o tripé da sustentabilidade compreendido pelas esferas social, ambiental e econômica. De acordo com esse conceito, as organizações entregam valor sustentável e apoiam uma sociedade sustentável quando ajudam a atender as necessidades da geração atual sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades. A abordagem do *Triple Bottom Line* inclui responsabilidades ambientais e sociais adicionais que complementam a perspectiva econômica (Sartal et al., 2020). Para alcançar a criação de valor sustentável, as organizações precisam adotar todas as três dimensões em seus modelos de negócios (Lindgreen et al., 2022; Pollard et al., 2022).

A teoria Triple Bottom Line, conforme Elkington (2008), tem a sustentabilidade como objetivo principal e incorpora três dimensões de desempenho: econômica, social e ambiental, possibilitando resultados sustentáveis. Com base nesta teoria, o objetivo mais crítico para as empresas é sustentar a rentabilidade no longo prazo. A dimensão da sustentabilidade social inclui as questões sociais relevantes, como a educação, os direitos humanos e os serviços de saúde, enquanto a sustentabilidade ambiental inclui prestar atenção às mudanças ambientais e obedecer às regulamentações ambientais. Para entregar valor sustentável, as organizações devem buscar um equilíbrio entre benefícios econômicos, ações ecologicamente corretas e desenvolvimento de capital humano e social (Varriale et al., 2023).

Margherita e Braccini (2020) e Sartal (2020) defendem que a dimensão econômica é a mais simples de entender por ser a tradicionalmente considerada contemplando a transformação de matérias-primas, mão de obra e outros recursos em produtos e serviços a custo e tempo adequados, além disso, contempla uma gestão empresarial capaz de agregar uma perspectiva organizacional que analisa a sequência de atividades que aumentam o valor do produto ou serviço. Já a dimensão social e a dimensão ambiental

parecem ser mais difíceis de se assimilar e compreender, pois medir impactos e responsabilidades sociais e ambientais é uma tarefa mais desafiadora para as organizações, podendo assumir diferentes significados dependendo do contexto da organização. Em outras palavras, o aspecto econômico pode remeter à ideia de valor econômico para garantir a possibilidade de entrega de produtos e serviços com boa relação entre receitas e custos.

A dimensão social pode ser compreendida como uma criação de valor para conduzir práticas empresariais justas em benefício da força de trabalho, da comunidade e da sociedade em geral. A dimensão social amplia a perspectiva da organização para abranger a todos os *stakeholders*. Requer que a organização gerencie a sobrevivência de longo prazo e, simultaneamente, lide com questões sociais relacionadas ao envolvimento da comunidade, relações com os funcionários, salários justos, qualidade de vida, integração social nas comunidades, solidariedade, equidade e justiça e igualdade de oportunidades na educação. (Margherita e Braccini, 2020; Jones e Wynn, 2021; Roos, Kubina e Farafonova, 2021).

A dimensão ambiental pode ser entendida como uma ideia organizacional de criação de valor e atendimento às expectativas de *stakeholders* por meio de racionalização do uso de recursos naturais, consumo eficiente de energia, consumo de energia renovável e redução de emissões e poluição (Pollard et al., 2022). Nesse sentido, Margherita e Braccini (2020) sugerem que a sustentabilidade precisa englobar a associação da proteção ambiental com o desenvolvimento social que deve ser abordado pelas organizações juntamente com seus objetivos de desenvolvimento econômico. Portanto, estabelecer um modelo de sustentabilidade que diz respeito aos impactos econômicos, ambientais e sociais das atividades é particularmente relevante.

## **INDICADORES DE CIRCULARIDADE**

Os indicadores de circularidade nasceram a partir de uma necessidade de medição ou compreensão de aspectos da circularidade de um sistema, processo ou de toda uma instituição diante do amplo escopo da economia circular (Pollard et al., 2022; Rossi et al., 2022). Os indicadores de circularidade podem ajudar numa compreensão mais clara de um sistema complexo (Boorsma et al., 2022; Bianchi e Cordella, 2023) através da apresentação simplificada de informações (de Kraker et al., 2019; Gorman e Dzombak, 2019; Bracquene, Dewulf e Duflou, 2020).

Outro ponto que merece destaque é que os indicadores de circularidade podem

contribuir no aumento da confiança nos processos, principalmente nas fases de tomada de decisões dando um norte entre as partes interessadas (Luttenberger, 2020; Paiho et al., 2020). Além disso, o emprego de indicadores de circularidade pode representar quais os principais quesitos e parâmetros que uma organização valoriza ou por onde ela se envereda para alcançar um modelo de negócios circular (Rossi et al., 2020; Arzoumanidis et al., 2021).

Além disso, os indicadores de circularidade são ferramentas que podem ser usadas para classificar ou avaliar organizações, além de fornecer as informações necessárias para acompanhar ou direcionar o progresso rumo a uma economia circular (Pollard et al., 2022; Rossi et al., 2022). Também é possível utilizar os indicadores de circularidade como ferramenta para mensurar a transição de uma economia linear para circular, mas esse processo ainda está em desenvolvimento (Nika et al., 2021; Pollard et al., 2022).

Os indicadores de circularidade são numerosos e são adaptáveis a diversos casos e cenários (Martin e Diener, 2021). Muitos indicadores são propostos pela literatura e utilizados para estudar um determinado caso ou um determinado segmento (Lindgreen et al., 2022). Na verdade, cada tipo de negócio circular pode adotar indicadores de circularidade aplicados à realidade e aos objetivos do negócio (Boorsma et al., 2022).

Apesar dessa diversidade e adaptabilidade, foram desenvolvidas algumas métricas que visam medir e quantificar a circularidade nas empresas, independentemente do seu tipo, atividade e dimensão (Alamerew et al., 2020; Anastasiades et al., 2020; Bianchi e Cordella, 2023). As métricas circulares geralmente se debruçam sobre três princípios: métricas de eficiência operacional, métricas de desempenho em sustentabilidade e métricas de criação de valor circular (Suskevicius e Kruopiene, 2021).

As métricas de eficiência operacional geralmente se dão sobre parâmetros como eficiência de recursos, consumo de energia, consumo de insumos (água e utilidades, por exemplo) e otimização (Rufi-Salis et al., 2021; Saade et al., 2022). Já as métricas de desempenho em sustentabilidade preocupam-se com impactos ambientais, sociais e econômicos utilizando indicadores que versam sobre questões relacionadas à emissões e engajamento de funcionários em projetos sobre economia circular, por exemplo (Silva, Simioni e Hoff, 2020). Finalmente, as métricas de criação de valor rastreiam como o negócio está se aperfeiçoando a partir de iniciativas de circularidade e utilizam indicadores como investimentos e receita circular, por exemplo (Razza et al., 2020; Pacurariu et al., 2021; Bianchi e Cordella, 2023).

Para exemplificar, uma dessas métricas é o Material Circularity Indicator (EMF,

2023). O Material Circularity Indicator (MCI) visa medir a circularidade de um produto e foi desenvolvido pela Fundação Ellen MacArthur para abranger todo o ciclo de vida de um produto desde a extração de matérias-primas, passando pelo processamento, até a fase de uso e fim de vida (Paiho et al., 2020; Boorsma et al., 2022; Lindgreen et al., 2022). O MCI foca em fontes sustentadas, matérias-primas reusadas ou recicladas, prolongamento da vida útil, reutilização ou reciclagem, uso intensivo e não contaminações de produtos biológicos (Pollard et al., 2022; Rossi et al., 2022).

Em relação ao ciclo de vida, uma métrica conhecida é a ferramenta de *Life Cycle Assessment* (LCA) possibilitando quantificar os impactos ambientais (saúde humana, extração de recursos e impactos no meio-ambiente) associados a um sistema ao longo de todo o seu ciclo de vida (Arora et al., 2022). O LCA pode ser útil para uma organização que deseja saber como minimizar o impacto natural e social do capital, além de proporcionar bases para aprimorar a circularidade (Bracquene, Dewulf e Duflou, 2020; Paiho et al., 2020; Pollard et al., 2021).

Outros exemplos de métricas que merecem destaque são o *Circular Economy Toolkit* (CET) e o *Circular Economy Indicator Prototype* (CEIP). O CET é uma ferramenta desenvolvida pela Universidade de Cambridge em 2017 focado na melhoria e aperfeiçoamento da circularidade dos produtos fornecendo recomendações para cada etapa do ciclo de vida (Luttenberger, 2020; Arzoumanidis et al., 2021). Já o CEIP é uma ferramenta desenvolvida por Griffiths and Cayzer em 2016 avalia o desempenho de circularidade do produto através de uma pontuação geral e um diagrama de radar para evidenciar o desempenho de cada etapa do ciclo de vida (Giama e Papadopoulos, 2020; Harris, Martin e Diener, 2021; Bianchi e Cordella, 2023).

## **O MÉTODO SODA (STRATEGIC OPTIONS AND DEVELOPMENT ANALYSIS)**

A Proposta Operacional Clássica possui um vasto campo de aplicação em situações bem estruturadas, definidas e com considerável simplicidade (Ackerman, 2012). Porém, as demandas por estruturação de problemas complexos que exigiam uma visão holística na indicação de suas soluções levaram ao desenvolvimento dos Métodos de Estruturação de Problemas (PSM), também conhecidos como PO soft (Rosenhead e Mingers, 2001). Alguns desses métodos são SCA (Strategic Choice Approach), SODA (Strategic Options Development and Analysis) e SSM (Soft Systems Methodology). Esses métodos consideram que problemas complexos não são estruturados, pois possuem

intangíveis significativos, incertezas em aspectos relevantes e fundamentais, conflitos de interesse e múltiplas perspectivas e atores (Rosenhead e Mingers, 2001; Eden e Ackerman, 2018). Portanto, concentram-se na formulação e solução do problema abordando diferentes dimensões, difíceis de avaliar pelos métodos tradicionais.

Especificamente, o SODA, por sua vez, é um método de estruturação de problemas utilizado para tomada de decisão em grupo em situações caracterizadas por incertezas, questões não triviais e complexidades que não podem ser sujeitas à modelagem algorítmica formal, que é objeto de estudo da proposta operacional hard. (Georgiou, 2010; Ackerman, 2012; Eden e Ackerman, 2018). O método SODA foi criado na década de 1980 por Colin Eden e Fran Ackermann no Reino Unido para compreender uma questão ou problema a partir do diálogo por meio de entrevistas com um ou mais atores (stakeholders) envolvidos (Eden, 1998; Eden e Ackermann, 1998; Santos et al., 2019). A construção de mapas cognitivos é parte integrante da estruturação do problema no método SODA, trazendo conceitos bipolares, ou seja, com uma afirmação e um contraste (Ackerman e Eden, 2001; Abuara et al., 2023). Os conceitos são escritos em construtos logicamente conectados, fornecendo informações sobre a situação analisada (Georgiou, 2010).

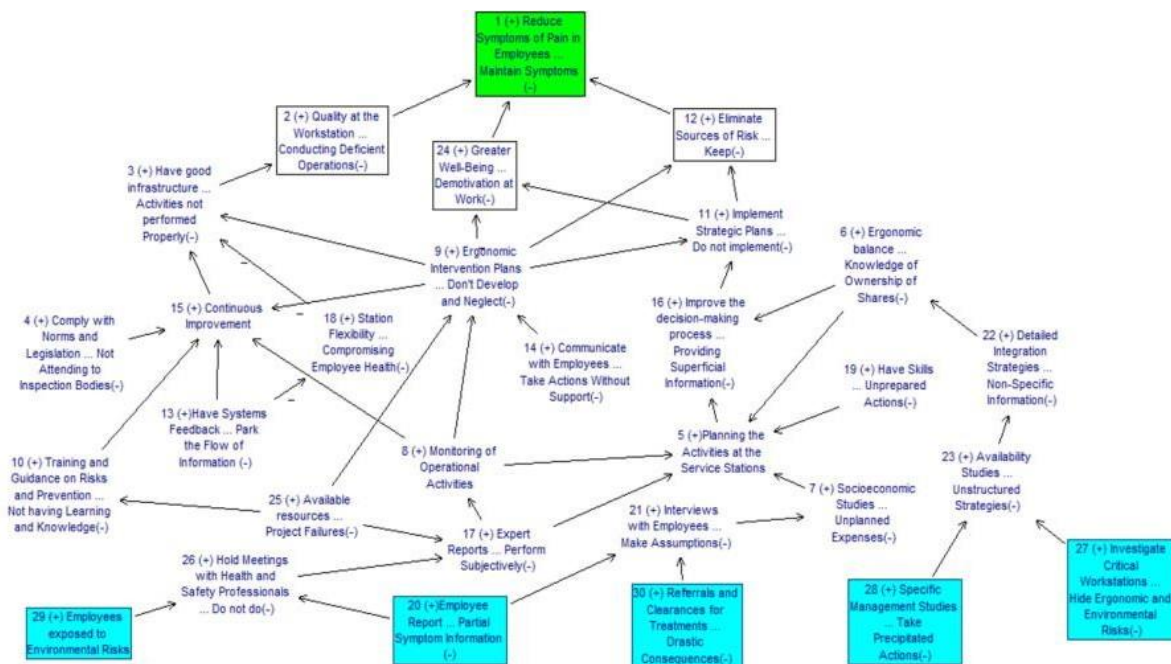
O fundamento dos mapas cognitivos está na teoria dos construtos psicológicos de George Kelly (1955), que está baseada na compreensão de mundo pelos seres humanos a partir de conceitos dicotômicos, isto é, conceitos que são explicados por dois polos contrastantes ou alternativos. Essas oposições são utilizadas com intuito de oferecer maior clareza de entendimento e melhor interpretação do problema analisado conforme as percepções e linguagens de quem analisa. Os mapas desenhados através do SODA, entretanto, são modelos cuja estrutura essencial é a de um grafo (nós e links) ou, mais exatamente, um grafo direcionado (também conhecido como dígrafo) (Georgiou, 2010; Eden e Ackerman, 2018).

No método SODA, essa bipolaridade de cada conceito é apresentada por frases separadas por três pontos. A primeira frase constitui o polo positivo ou primário, ou seja, é a frase que traz uma assertiva a respeito de uma questão pertinente ao problema analisado. Já a segunda frase é o polo negativo ou secundário, cuja função é elucidar o polo primário a partir de um contraste ou alternativa. Esses construtos são conectados de maneira lógica fornecendo informações a respeito da situação analisada (Georgiou, 2010).

Os conceitos contidos no mapa SODA podem ser analisados sob uma ótica

qualitativa e quantitativa (figura 3). A análise qualitativa se dá com base na interligação dos construtos tidos como caudas, cabeças e opções estratégicas. Os construtos caudas (exemplo: construtos 29, 20, 30, 28 e 27 na figura 3) representam aquilo que pode ser considerado como fator gerador do problema, isto é, a causa do problema. As cabeças (exemplo: construto 1 na figura 3) são os construtos que representam os objetivos ou as consequências, ou seja, as cabeças dão uma boa ideia do assunto que é tratado no mapa SODA. As opções estratégicas são aqueles construtos com ligações imediatas a uma cabeça (exemplo: construtos 2, 24 e 12 na figura 1), representando as influências para a materialização dos objetivos. A análise qualitativa mostra a hierarquia dos conceitos partindo da cauda que é a base dos conceitos para se chegar nas opções estratégicas que apontam para os objetivos contidos no construto cabeça (Georgiou, 2010; Tajra, 2018, Correia et al., 2021).

**Figura 1** – Exemplo de mapa SODA



Fonte: Correia et al. (2021).

A análise quantitativa, por sua vez, se dá a partir da quantidade de interações entre os construtos, classificando-os em implosões, explosões e dominantes. Os construtos que recebem muitas ligações são chamados de implosões sendo construções afetadas por várias outras construções (exemplo: construtos 3 e 5 na figura 3) e, por extensão, várias áreas do mapa. Aqueles construtos que apresentam muitas ligações para fora são denominados explosões (exemplo: construto 8 da figura 3) indicando influência sobre

outros diversos construtos. Dominantes são os construtos com um número total relativamente alto de construtos que conduzem a eles e conduzem a partir deles (exemplo: construto 9 da figura 3). Enquanto as cabeças oferecem uma boa ideia inicial do que é um mapa, os dominantes oferecem uma boa indicação das principais questões que devem ser abordadas para chegar às cabeças (Georgiou, 2010).

Cada construto presente no mapa SODA recebe uma numeração aleatória que serve apenas para referenciá-los. Os pólos primários e secundários num construto devem ser lidos em ordem. A ligação entre dois construtos deve ser lida da cauda da flecha até a ponta da flecha e é preciso atentar-se para o caso de haver uma seta sinalizada com um símbolo negativo ("-") indicando que, nesse ponto, deve-se trocar de pólo ao seguir o argumento ao longo do *link* (Georgiou, 2010).

O mapa cognitivo é uma apresentação gráfica que representa a subjetividade do pensamento de uma pessoa ou grupo a respeito de um problema ou de uma situação. A construção de um mapa SODA não é uma ciência exata e por isso não há uma forma correta de mapear, existindo apenas diretrizes que auxiliam o processo de mapeamento e análise. Essa apresentação gráfica retrata a interligação entre os conceitos levantados durante a coleta de dados que aponta para o objetivo, ou seja, para a questão a ser compreendida. Em geral essa coleta de dados se dá a partir de entrevistas e/ou de uma análise documental com um ou mais indivíduos detentores de conhecimento ou experiência no assunto estudado ou problema analisado (Eden, 2004; Eden e Ackerman, 2018).

A construção de um mapa SODA deve partir de um estereótipo que sintetize o problema a ser estudado seguida pela definição dos elementos primários de avaliação. A partir daí vem a construção de conceitos ou construtos baseados nesses elementos primários seguindo uma hierarquia de conceitos. Depois se dão as ligações de influência entre os construtos e, finalmente, a construção do mapa. Caso exista mais de um entrevistado, é construído um mapa refletindo as ideias discutidas por cada um dos entrevistados que deverá ser validado após a elaboração. Concluídas essas fases, é feita a compilação num único mapa SODA que deverá ser validado e ajustado pelos entrevistados. Relevante notar que no caso de mais de um entrevistado, o mapa SODA não refletirá necessariamente como qualquer indivíduo entende a situação, mas refletirá a compreensão do grupo (Eden, 2004; Tajra, 2018).

Um mapa SODA poderá apresentar diferentes complexidades que variam de acordo com o tipo de problema analisado, com a habilidade do entrevistador, com a



disponibilidade do entrevistado e, ainda, com a estruturação da entrevista realizada para coleta de dados. No âmbito da entrevista é preciso buscar um equilíbrio para não simplificar demais o pensamento do entrevistado com perguntas muito fechadas e nem fugir muito do objetivo (cabeça) com perguntas muito abertas, devendo encorajar o entrevistado a expressar livremente seu pensamento (Eden, 2004; de Araujo, Oliveira-Esquerre e Sahin, 2021).

A seleção de entrevistados (*stakeholders*) é algo dinâmico e precisa considerar a complexidade do problema estudado e as especialidades dos entrevistados, tomando o cuidado para não se restringir a apenas um critério de características, o que poderia limitar o estudo (Wang, Liu e Mingers, 2015). Deve-se ainda atentar-se para o fato de que os *stakeholders* precisam ter disponibilidade e certo grau de interesse no assunto (Eden e Ackerman, 2018).

Embora a aplicação típica do método SODA envolva entrevistas com múltiplas partes interessadas, não existe um número específico ou fixo para a sua aplicação. Em muitos casos, a realização de uma entrevista focada com um único interveniente, especialmente um bem versado e especializado no assunto, pode ser mais valiosa do que entrevistas com vários intervenientes (Eden e Ackermann, 1998; Santos et. al., 2019).

Algumas práticas podem ser adotadas para interpretação e análise de um mapa SODA. Um exemplo dessas práticas é a análise dos *clusters* que possibilita a identificação de agregações de construtos inter-relacionados no mapa. A partir da determinação das opções estratégicas torna-se possível criar *clusters*, ou seja, agrupar construtos hierarquicamente inferiores subordinados a cada opção estratégica (Eden e Ackermann, 2013). Construtos agrupados com uma opção estratégica específica são chamados de *clusters* (Ackermann e Eden 2010). Um *cluster* pode ser útil para notar grupos de questões que juntas compõem o problema analisado (Eden, 2004; Manso, Suterio e Belderrain, 2015; Santos et al., 2019).

Outro exemplo de prática importante para análise de um mapa SODA é a identificação de *loops* de acordo com o direcionamento de *feedback* das setas que podem sinalizar a existência de considerações de causa e efeito. Um *loop* precisa ser autocontrolado, ou seja, precisa conter construtos que seguindo a hierarquia cheguem a uma situação reversível, sem necessariamente terem que percorrer o ciclo incessantemente, isto é, pode existir a possibilidade de saídas do *loop* para outros construtos fora do *loop* (Eden, 2004).

Em resumo, o método SODA dissecar a descrição oral ou escrita de um ator e a

traduz em um conjunto de construções bipolares. As construções são então conectadas causalmente de uma maneira que reflete a lógica descritiva do ator. Quando completo, o mapa pode ser lido independentemente de suas fontes. O método SODA oferece uma abordagem qualitativa, bipolar e cartográfica para situações complexas (Georgiou, 2010; Tajra, 2018).

## BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

ANDERL, R. Industrie 5.0: advanced engineering of smart products and smart production. *Anais do International Seminar on High Technology*, v. 19, Piracicaba, Brasil, 2014.

ASHTON, K. That ‘internet of things’ thing. *RFID Journal*, v. 22, p. 97-114, 2009.

AHMADOVA, G.; DELGADO-MARQUEZ, B. L.; PEDAUGA, L. E.; LEYVA-DE LA HIZ, D. I. Too good to be true: The inverted U-shaped relationship between home-country digitalization and environmental performance. *Ecological Economics*, 196, 2022.

ALAMEREW, Y. A.; KAMBANOU, M. L.; SAKAO, T.; BRISSAUD, D. A Multi-Criteria Evaluation Method of Product-Level Circularity Strategies. *Sustainability*, v. 12, n. 12, 2020.

ALHAWARI, O.; AWAN, U.; BHUTTA, M. K. S.; ALI ÜLKÜ, M. Insights from circular economy literature: A review of extant definitions and unravelling paths to future research. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 2, p. 1-22, 2021.

ALKARAAN, F.; ALBITAR, K.; HUSSAINEY, K.; VENKATESH, V. G. Corporate transformation toward Industry 5.0 and financial performance: The influence of environmental, social, and governance (ESG). *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 2022.

ANASTASIADES, K.; BLOM, J.; BUYLE, M.; AUDENAERT, A. Translating the circular economy to bridge construction: Lessons learnt from a critical literature review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 117, 2020.

ANTIKAINEN, M.; UUSITALO, T.; KIVIKYTÖ-REPONEN, P. Digitalisation as an enabler of circular economy. *Procedia CIRP*, v. 73, p. 45-49, 2018.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

ARORA, M.; YEOW, L. W.; CHEAH, L.; DERRIBLE, S. Assessing water circularity

in cities: Methodological framework with a case study. *Resources Conservation and Recycling*, 178, 2022.

ARZOUMANIDIS, I.; WALKER, A. M.; PETTI, L.; RAGGI, A. Life Cycle-Based Sustainability and Circularity Indicators for the Tourism Industry: A Literature Review. *Sustainability*, v. 13, n. 21, 2021.

ÁVILA-GUTIÉRREZ, M. J.; MARTÍN-GÓMEZ, A.; AGUAYO-GONZÁLEZ, F.; CÓRDOBA-ROLDÁN, A. Standardization framework for sustainability from circular economy 5.0. *Sustainability (Switzerland)*, 11, n. 22, 2019.

ÁVILA-GUTIÉRREZ, M. J.; MARTÍN-GÓMEZ, A.; AGUAYO-GONZÁLEZ, F.; LAMA-RUIZ, J. R. Eco-holonic 5.0 circular business model to conceptualize sustainable value chain towards digital transition. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 5, p. 1-32, 2020.

AWAN, U.; SROUFE, R.; BOZAN, K. Designing Value Chains for Industry 5.0 and a Circular Economy: A Review of the Literature. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 12, 2022.

BAG, S.; WOOD, L. C.; MANGLA, S. K.; LUTHRA, S. Procurement 5.0 and its implications on business process performance in a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 2020.

BAI, C. G.; QUAYSON, M.; SARKIS, J. COVID-19 pandemic digitization lessons for sustainable development of micro-and small-enterprises. *Sustainable Production and Consumption*, n. 27, p. 1989-2001, 2021.

BELHADI, A.; KAMBLE, S.; GUNASEKARAN, A.; MANI, V. Analyzing the mediating role of organizational ambidexterity and digital business transformation on industry 5.0 capabilities and sustainable supply chain performance. *Supply Chain Management-an International Journal*, 2021.

BIANCHI, M.; CORDELLA, M. Does circular economy mitigate the extraction of natural resources? Empirical evidence based on analysis of 28 European economies over the past decade. *Ecological Economics*, 203, 2023.

BIANCHINI, A.; PELLEGRINI, M.; ROSSI, J.; SACCANI, C. A new productive model of circular economy enhanced by digital transformation in the Fourth Industrial Revolution - An integrated framework and real case studies. In: **AIDI - ITALIAN ASSOCIATION OF INDUSTRIAL OPERATIONS PROFESSORS**, 2018, p. 221-227.

BOORSMA, N.; POLAT, E.; BAKKER, C.; PECK, D.; BALKENENDE, R. Development of the Circular Product Readiness Method in Circular Design. *Sustainability*, v. 14, n. 15, 2022.

BRACQUENE, E.; DEWULF, W.; DUFLOU, J. R. Measuring the performance of more circular complex product supply chains. *Resources Conservation and Recycling*, 154, 2020.

BURLAKOV, J.; JANI, Y.; KRIIPSALU, M.; VINCEVICA-GAILE, Z.; KACZALA, F.; CELMA, G.; OZOLA, R.; ROZINA, L.; RUDOVICA, V.; HOGLAND, M.; VIKSNA, A. On the way to 'zero waste' management: recovery potential of elements, including rare earth elements, from fine fraction of waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, p. 81-90, 2018.

BURMAOGLU, S.; OZDEMIR GUNGOR, D.; KIRBAC, A.; SARITAS, O. Future research avenues at the nexus of circular economy and digitalization. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 2022.

CAGNO, E.; NERI, A.; NEGRI, M.; BASSANI, C. A.; LAMPERTICO, T. The Role of Digital Technologies in Operationalizing the Circular Economy Transition: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, n. 11, v. 8, 3328, 2021.

BAUDIN, M. *Working with machines: the nuts and bolts of lean operations with jidoka*, New York: Productivity Press, 2007. CHECKLAND, P. *Systems thinking, systems practice*. New York: John Wiley, 1999.

CAMARINHA-MATOS, L. M.; ROCHA, A. D.; GRACA, P. Brief Overview of Collaborative Approaches in Sustainable Manufacturing. In: **SMART AND SUSTAINABLE COLLABORATIVE NETWORKS 5.0** (PRO-VE 2021), 2021, 629. p. 3-18.

CASALE, O. The value of human capital in green deal-oriented smart cities. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, n. 15, v. 1, p. 15-23, 2021.

CAVALIERI, A.; AMORIM, M.; REIS, J. Eco-Innovation and Digital Transformation Relationship: Circular Economy as a Focal Point. In: *SPRINGER*, 2021, p. 49-64.

CEZARINO, L. O.; LIBONI, L. B.; STEFANELLI, N. O.; OLIVERA, B. G.; STOCCO L. C. Diving into emerging economies bottleneck: Industry 5.0 and implications for circular economy. *Management Decision*, v. 59, n. 8, p. 1841-1862, 2021.

COLOMBO, A. W.; KARNOUSKOS, S.; HANISCH, C. Engineering human-focused Industrial Cyber-Physical Systems in Industry 5.0 context. *Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences*, v. 379, n. 2207, 2021.

DE KRAKER, J.; KUJAWA-ROELEVELD, K.; VILLENA, M. J.; PABON-PEREIRA, C. Decentralized Valorization of Residual Flows as an Alternative to the Traditional Urban Waste Management System: The Case of Penalolen in Santiago de Chile. *Sustainability*, v. 11, n. 22, 2019.

DE MIRANDA, S. S. F.; CÓRDOBA-ROLDÁN, A.; AGUAYO-GONZÁLEZ, F.; ÁVILA-GUTIÉRREZ, M. J. Neuro-competence approach for sustainable engineering. *Sustainability (Switzerland)*, 13, n. 8, 2021.

DEL GIUDICE, M.; CHIERICI, R.; MAZZUCHELLI, A.; FIANO, F. Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *International Journal of Logistics Management*, 32, n. 2, p. 337-356, 2021.

DI VAIO, A.; HASAN, S.; PALLADINO, R.; HASSAN, R. The transition towards circular economy and waste within accounting and accountability models: a systematic literature review and conceptual framework. *Environment, Development and Sustainability*, 2022.

DIAS, V. M. R.; JUGEND, D.; FIORINI, P. D.; RAZZINO, C. D.; PINHEIRO, M. A. P. Possibilities for applying the circular economy in the aerospace industry: Practices, opportunities and challenges. *Journal of Air Transport Management*, v. 102, 102227, 2022.

DYATLOV, S. A.; DIDENKO, N. I.; LOBANOV, O. S.; KULIK, S. V. Digital transformation and convergence effect as factors of achieving sustainable development. In: *INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING*, 2019.

EL HILALI, W.; EL MANOUAR, A. Towards a sustainable world through a SMART digital transformation. In: *ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY*, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). Material Circularity Indicator. Disponível em: < <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator/> .>. Acesso em: 03 de agosto de 2023.

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: the triple bottom line of 21<sup>st</sup>-century business. *Environmental Quality Management*, v. 8, n. 1, p. 37–51, 2008.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. The circular economy – a new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, n. 1, p. 757-768, 2017.

GENOVESE, A.; ACQUAYE, A. A.; FIGUEROA, A.; KOH, S. L. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: evidence and some applications. *Omega*, 66(B), p. 344-357, 2017.

GHOBAKHLOO, M. Industry 5.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 252, n. 21, 119869, 2020.

GIAMA, E.; PAPADOPOULOS, A. M. Benchmarking carbon footprint and circularity in production processes: The case of stonewool and extruded polystyrene. *Journal of Cleaner Production*, 257, 2020.

GODSIFF, P.; WOOD, Z. Circular insurance: Customer-centric, data-driven services for the Circular Economy. In: *IEEE COMPUTER SOCIETY*, 2021, p.1686-1695.

GONG, C.; RIBIERE, V. Developing a unified definition of digital transformation. *Technovation*, v. 102, 102217, 2021.

GORMAN, M. R.; DZOMBAK, D. A. An Assessment of the Environmental Sustainability and Circularity of Future Scenarios of the Copper Life Cycle in the US.

*Sustainability*, v. 11, n. 20, 2019.

GRAF, J.; SHI, W. C.; BIRK, S. Circulation-effective potential of wood in hall structures. *Bautechnik*, 99, p. 2-12, 2022.

GUNDU, K.; JAMWAL, A.; YADAV, A.; AGRAWAL, R.; JAIN, J. K.; KUMAR, S. Circular Economy and Sustainable Manufacturing: A Bibliometric Based Review. *Recent Advances in Industrial Production*, 2022.

HAPPONEN, A.; GHOREISHI, M. A Mapping Study of the Current Literature on Digitalization and Industry 5.0 Technologies Utilization for Sustainability and Circular Economy in Textile Industries. In: **6th INTERNATIONAL CONGRESS ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, ICICT 2021**, 2021, p. 697-711.

HARRIS, S.; MARTIN, M.; DIENER, D. Circularity for circularity's sake? Scoping review of assessment methods for environmental performance in the circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, v. 26, p. 172-186, 2021.

HEDBERG, A.; ŠIPKA, S. Toward a circular economy: The role of digitalization. *One Earth*, v. 4, n. 6, p. 783-785, 2021.

HEIM, H.; HOPPER, C. Dress code: the digital transformation of the circular fashion supply chain. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, v. 15, n. 2, p. 233-244, 2022.

HONG NHAM, N. T.; HA, L. T. Making the circular economy digital or the digital economy circular? Empirical evidence from the European region. *Technology in Society*, v. 70, 2022.

HU, J.; XIAO, Z.; ZHOU, R.; DENG, W.; WANG, M.; MA, S. Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 2-3, p. 221-228, 2011.

IIDA, H.; ISHIBASHI, K.; INOUE, A.; SAWATANI, Y. Empathy-Based CE Strategy to Tackle Complex Challenges. In: **AHFE CONFERENCE ON THE HUMAN SIDE OF SERVICE ENGINEERING**, 2021, p. 320-327.



ILIĆ, M. P.; RANKOVIĆ, M.; DOBRILLOVIĆ, M.; BUCEA-MANEA-ȚONIȘ, R.; MIHOREANU, L.; GHEȚA, M. I.; SIMION, V-E. Challenging Novelties within the Circular Economy Concept under the Digital Transformation of Society. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 2, 702, 2022.

JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C.; GODINHO FILHO, M.; ROUBAUD, D. Industry 5.0 and the circular economy: a proposed researchagenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, v. 270, n.1-2, p. 273-286, 2018.

JÆGER, B.; HALSE, L. L. Operationalizing Industry 5.0: Understanding Barriers of Industry 5.0 and Circular Economy. In: **IFIP INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS**, 2019, p. 135-142.

JAYASHREE, S.; REZA, M. N. H.; MALARVIZHI, C. A. N.; GUNASEKARAN, A.; GUNASEKARAN, A.; RAUF, M. A. Testing an adoption model for Industry 5.0 and sustainability: A Malaysian scenario. *Sustainable Production and Consumption*, v. 31, p. 313-330, 2022.

JONES, P.; WYNN, M. The leading digital technology companies and their approach to sustainable development. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 12,6612, 2021.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 5.0 framework: a systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 117, n. 1, p. 408-425, 2018.

KANG, H. S.; LEE, J. Y.; CHOI, S.; KIM, H.; PARK, J. H.; SON, J. Y.; KIM, B. H.; NOH, S. D. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International. Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 3, n. 1, p. 111–128, 2016.

KHUNTIA, J.; SALDANHA, T. J.; MITHAS, S.; SAMBAMURTHY, V. Information technology and sustainability: evidence from an emerging economy. *Production and Operations Management*, v. 27, n. 4, p. 756-773, 2018.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 127, p. 221-232, 2017.

KRISTOFFERSEN, E.; MIKALEF, P.; BLOMSMA, F.; LI, J. The effects of business analytics capability on circular economy implementation, resource orchestration capability, and firm performance. *International Journal of Production Economics*, v. 239, 108205, 2021.

KUNKEL, S.; MATTHESS, M. Digital transformation and environmental sustainability in industry: Putting expectations in Asian and African policies into perspective. *Environmental Science & Policy*, v. 112, p. 318-329, 2020.

KURNIAWAN, T. A.; DZARFAN OTHMAN, M. H.; HWANG, G. H.; GIKAS, P. Unlocking digital technologies for waste recycling in Industry 5.0 era: A transformation towards a digitalization-based circular economy in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, v. 357, 131911, 2022.

LABUCAY, I. Is There a Smart Sustainability Transition in Manufacturing? Tracking Externalities in Machine Tools over Three Decades. *Sustainability*, v.14, n. 2, 838, 2022.

LIBONI, L. B.; LIBONI, L. H. B.; CEZARINO, L. O. Electric utility 5.0: trends and challenges towards process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 117, p. 593-605, 2018.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 115, p.36–51, 2016.

LINDGREEN, E. R.; OPFERKUCH, K.; WALKER, A. M.; SALOMONE, R.; REYES, T.; RAGGI, A.; SIMBOLI, A.; VERMEULEN, W. J. V.; CAIEIRO, S. Exploring assessment practices of companies actively engaged with circular economy. *Business Strategy and the Environment*, v.31, n. 4, p. 1414-1438, 2022.

LIU, H.; LIAO, H. T. From the Word-of-mouth to Social Impact: A Bibliometric Analysis

of Social Media Marketing. In: **Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.**, p. 1-6, 2021.

LIU, Q.; TREVISAN, A. H.; YANG, M.; MASCARENHAS, J. A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms. *Business Strategy and the Environment*, v. 31, p. 2171-2192, 2022.

LOS RIOS, I. C. D.; CHARNLEY, F. J. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: the changing role of design. *Journal of Cleaner Production*, 160, 109-122, 2017.

LU, Y. Industry 5.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1–10, 2017.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. When strategies matter: adoption of sustainable supply chain management practices in an emerging economy's context. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 138, p. 194-206, 2018.

LUTTENBERGER, L. R. Waste management challenges in transition to circular economy - Case of Croatia. *Journal of Cleaner Production*, 256, 2020.

MARODIN, G.; SAURIN, T.; TORTORELLA, G.; DENICOL, J. How context factors influence lean production practices in manufacturing cells. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 79 n. 5-8, p. 1389-1399, 2015.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA, *Crafting the future: a roadmap for industry 5.0 in de sustentabilidade e da economia circular xico*, 1st edition, de sustentabilidade e da economia circular xico City. Available at: [www.gob.mx/se](http://www.gob.mx/se), 2016.

MAIUROVA, A.; KURNIAWAN, T. A.; KUSTIKOVA, M.; BYKOVSKAIA, E. OTHMAN, M. H. D.; SINGH, D.; GOH, H. H. Promoting digital transformation in waste collection service and waste recycling in Moscow (Russia): Applying a circular economy paradigm to mitigate climate change impacts on the environment. *Journal of Cleaner Production*, v. 354, 131604, 2022.

MARGHERITA, E. G.; BRACCINI, A. M. Industry 5.0 Technologies in Flexible Manufacturing for Sustainable Organizational Value: Reflections from a Multiple Case

Study of Italian Manufacturers. *Information Systems Frontiers*, 2020.

MATHERI, A. N.; MOHAMED, B.; NTULI, F.; NABADDA, E.; NGILA, J. C. Sustainable circularity and intelligent data-driven operations and control of the wastewater treatment plant. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 126, 103152, 2022.

MCKINSEY (2015) Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe. Report commissioned by Ellen MacArthur Foundation. MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICREW, M.; SHEKELLE, P.; STEWART, L. A. Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *Research methods & Reporting*, 349, 2015.

MOLLER, D. P. F. Enhancement in Intelligent Manufacturing through Circular Economy. In: **IEEE COMPUTER SOCIETY**, 2020, p. 87-92.

NAKAYAMA, M.; MIYAOKU, K.; NAKANISHI, F. Local Food Waste Recycling Solutions for Addressing the Sustainable Development Goals. *NTT Technical Review*, v. 19, n. 8, p. 21-25, 2021.

NASCIMENTO, D. L. M.; ALENCASTRO, V.; QUELHAS, O. L. G.; CAIADO, R. G. G.; GARZA-REYES, J. A.; LONA, L. R.; TORTORELLA, G. Exploring Industry 5.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 30, n. 3, 2018.

NIERO, M.; KALBAR, P. P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources Conservation and Recycling*, 140, p. 305-312, 2019.

NIKA, C. E.; EXPOSITO, A.; KISSER, J.; BERTINO, G.; ORAL, H. V.; DEGHANIAN, K.; VASILAKI, V.; IACOVIDOU, E.; FATONE, F.; ATANASOVA, N.; KATSOU, E. Validating Circular Performance Indicators: The Interface between Circular Economy and Stakeholders. *Water*, v. 13, n. 16, 2021.

NIK-BAKHT, M.; AN, C.; OUF, M.; HAFEEZ, G.; DZIEDZIC, R.; HAN, S. H.;

NASIRI, F.; EICKER, U.; HAMMAD, A.; MOSELHI, O. Value Stream Mapping of Project Lifecycle Data for Circular Construction. In: **INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (IAARC)**, 2021, p. 1033-1042.

NIŽIĆ, M. K.; GRDIĆ, Z. Š.; ZAMLIĆ, S. K. D. Urban Waste: Challenges and Opportunities in Tourism Destinations. *Waste Forum*, n. 2, p. 87-102, 2022.

NUDURUPATI, S. S.; BUDHWAR, P.; PAPPU, R. P.; CHOWDHURY, S.; KONDALA, M.; CHAKRABORTY, A.; GHOSH, S. K. Transforming sustainability of Indian small and medium-sized enterprises through circular economy adoption. *Journal of Business Research*, v. 149, p. 250-269, 2022.

OZKAN-OZEN, Y. D.; KAZANCOGLU, Y.; KUMAR MANGLA, S. Synchronized Barriers for Circular Supply Chains in Industry 3.5/Industry 5.0 Transition for Sustainable Resource Management. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 161, 2020.

PACURARIU, R. L.; VATCA, S. D.; LAKATOS, E. S.; BACALI, L.; VLAD, M. A Critical Review of EU Key Indicators for the Transition to the Circular Economy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 16, 2021.

PAIHO, S.; MAKI, E.; WESSBERG, N.; PAAVOLA, M.; TUOMINEN, P.; ANTIKAINEN, M.; HEIKKILÄ, J.; ROZADO, C. A.; JUNG, N. Towards circular cities-Conceptualizing core aspects. *Sustainable Cities and Society*, 59, 2020.

PARAJULY, K.; WENZEL, H. Potential for circular economy in household WEEE management. *Journal of Cleaner Production*, v. 151, p. 272-285, 2017.

PAULIUK, S.; KOSLOWSKI, M.; MADHU, K.; SCHULTE, S.; KILCHERT, S. Co-design of digital transformation and sustainable development strategies-What socio-metabolic and industrial ecology research can contribute. *Journal of Cleaner Production*, v. 343, 130997, 2022.

PENCARELLI, T. The digital revolution in the travel and tourism industry. *Information Technology and Tourism*, v. 22, n. 3, p. 455-476, 2020.

POLLARD, J.; OSMANI, M.; COLE, C.; GRUBNIC, S.; COLWILL, J. A circular economy business model innovation process for the electrical and electronic equipment sector. *Journal of Cleaner Production*, 305, 2021.

POLLARD, J.; OSMANI, M.; COLE, C.; GRUBNIC, S.; COLWILL, J., DIAZ, A. I. Developing and Applying Circularity Indicators for the Electrical and Electronic Sector: A Product Lifecycle Approach. *Sustainability*, v. 14, n. 3, 2022.

PAPADOPOULOU, T.; OZBAYRAK, M. Leanness: experiences from the journey to date. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 16 n. 7, p. 784–807, 2005.

PMI(2021) PROJECT MANAGE DE SUSTENTABILIDADE E DA ECONOMIA  
RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Industry 5.0 Model for circular economy and cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, v. 277, 123853, 2020.

RAJPUT, S., & SINGH, S. P. (2020). INDUSTRY 4.0 MODEL FOR CIRCULAR ECONOMY AND CLEANER PRODUCTION. *Journal of Cleaner Production*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853>

RAZZA, F.; BRIANI, C.; BRETON, T.; MARAZZA, D. Metrics for quantifying the circularity of bioplastics: The case of bio-based and biodegradable mulch films. *Resources Conservation and Recycling*, 159, 2020.

REJEB, A.; REJEB, K.; ABDOLLAHI, A.; ZAILANI, S.; IRANMANESH, M.; GHOBAKHLOO, M. Digitalization in Food Supply Chains: A Bibliometric Review and Key-Route Main Path Analysis. *Sustainability*, v. 14, n. 1, 83, 2022.

REJIKUMAR, G.; SREEDHARAN, R. V.; ARUNPRASAD, P.; PERSIS, J.; SREERAJ K. M. Industry 5.0: key findings and analysis from the literature arena. *Benchmarking: An International Journal*, v. 26, n. 8, p. 2514-2542, 2019.

RIESENER, M.; DOLLE, C.; MATTERN, C.; KRES, J. Circular economy: Challenges and potentials for the manufacturing industry by digital transformation. In: **INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS INC**, 2019.

ROCCHETTI, L.; AMATO, A.; BEOLCHINI, F. Printed circuit board recycling: a patent review. *Journal of Cleaner Production*, v. 178, p. 814-832, 2018.

ROMANELLO, D. G.; CARAMAGNO, F.; ZERBO, A.; GUADAGNUOLO, V.; BERTINO, A. New Information Technology Models to Support Proper and Effective Business Management to Improve the Transition to the Circular Economy. In: **24th INTERNATIONAL TRADE FAIR OF MATERIAL & ENERGY RECOVERY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT**, 2020, Rimini, Italy. *Anais... Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, v. 7, n. 1, p. 45-51.

ROMANOVA, O. A.; PONOMAREVA, A. O. Industrial Policy: New Realities, Formation and Implementation Issues. *Economic and Social Changes-Facts Trends Forecast*, v. 13, n. 2, p. 25-40, 2020.

ROMERO, D.; NORAN, O. Towards Green Sensing Virtual Enterprises: Interconnected Sensing Enterprises, Intelligent Assets and Smart Products in the Cyber-Physical Circular Economy. In: **20th IFAC WORLD CONGRESS**, 2017, p. 11719-11724.

ROOS, G.; KUBINA, N. Y.; FARAFONOVA, Y. Y. Opportunities for Sustainable Economic Development of the Coastal Territories of the Baltic Sea Region in the Context of Digital Transformation. *Baltic Region*, v. 13, n. 2, p. 7-26, 2021.

ROSSI, E.; BERTASSINI, A. C.; FERREIRA, C. D.; DO AMARAL, W. A. N.; OMETTO, A. R. Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247, 2020.

ROSSI, J.; BIANCHINI, A.; GUARNIERI, P. Circular economy model enhanced by intelligent assets from industry 5.0: The proposition of an innovative tool to analyze case studies. *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 17, 7147, 2020.

ROSSI, L.; LEONE, D.; BARNI, A.; FONTANA, A. Assessing the Sustainability of Industrial Equipment Life Extension Strategies through a Life Cycle Approach: Methodology and Practical Guidelines. *Processes*, v. 10, n. 2, 2022.

RUFI-SALIS, M.; PETIT-BOIX, A.; VILLALBA, G.; GABARRELL, X.; LEIPOLD, S. Combining LCA and circularity assessments in complex production systems: the case of urban agriculture. *Resources Conservation and Recycling*, 166, 2021.

SAADE, M.; ERRADHOUANI, B.; PAWLAK, S.; APPENDINO, F.; PEUPORTIER, B.; ROUX, C. Combining circular and LCA indicators for the early design of urban projects. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 27, n. 1, p. 1-19, JAN 2022.

SACCO, P.; GARGANO, E. R.; CORNELLA, A. Sustainable Digitalization: A Systematic Literature Review to Identify How to Make Digitalization More Sustainable. In: **CREATIVE SOLUTIONS FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT (TFC 2021)**, 2021, 635, p. 14-29.

SAIDANI, M.; KENDALL, A.; YANNOU, B.; LEROY, Y.; CLUZEL, F. Closing the loop on platinum from catalytic converters: Contributions from material flow analysis and circularity indicators. *Journal of Industrial Ecology*, v. 23, n. 5, p. 1143-1158, 2019.

SALMINEN, V.; RUOHOMAA, H.; KANTOLA, J. Digitalization and big data supporting responsible business co-evolution. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN FACTORS, BUSINESS MANAGEMENT AND SOCIETY**, 2017, p. 1055-1067.

SALMINEN, V.; RUOHOMAA, H.; POYKKO, T. From Supply Chain to Digital Circular Value Chain. In: **2016 INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH - REGIONAL CONFERENCE AFRICA, EUROPE AND THE MIDDLE EAST (ICPR-AEM 2016) AND 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY AND INNOVATION IN ENGINEERING AND MANAGEMENT (QIEM 2016)**, 2016, p. 524-530.

SALMINEN, V., RUOHOMAA, H., KANTOLA, J., 2017. **DIGITALIZATION AND BIG DATA SUPPORTING RESPONSIBLE BUSINESS CO-EVOLUTION**. Adv. Intell. Syst. Comput. 10.1007/978-3-319-42070-7\_96. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42070-7\\_96](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42070-7_96)

SARC, R.; CURTIS, A.; KANDLBAUER, L.; KHODIER, K.; LORBER, K. E.; POMBERGER, R. Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management – A review. *Waste Management*, v. 95, 476-492, 2019.

SARTAL, A.; BELLAS, R.; MEJIAS, A. M.; GARCIA-COLLADO, A. The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 5.0: A literature



review. *Advances in Mechanical Engineering*, v. 12, n. 5, 2020.

SECINARO, S. BRESCIA, V., CALANDRA, D., BIANCONE, P. Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars. *Journal of Cleaner Production*, v. 264, p. 121503, 2020.

SILVA, F. A.; SIMIONI, F. J.; HOFF, D. N. Diagnosis of circular economy in the forest sector in southern Brazil. *Science of the Total Environment*, 706, 2020.

SPALTINI, M.; POLETTI, A.; ACERBI, F.; TAISCH, M. A quantitative framework for Industry 5.0 enabled Circular Economy. In: **PROCEDIA CIRP**, v. 28, n. 12, 2021, p. 115-120.

SREEDHARAN, V. R.; UNNIKRISHNAN, A. (2017). Moving towards industry 5.0: a systematic review. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, v. 117, n. 20, p. 929-936, 2017.

SU, B.; HESHMATI, A.; GENG, Y.; YU, X. A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, v. 42, 215–227, 2013.

SUSKEVICE, V.; KRUIPIENE, J. Improvement of Packaging Circularity through the Application of Reusable Beverage Cup Reuse Models at Outdoor Festivals and Events. *Sustainability*, v. 13, n. 1, 2021.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 5.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 5.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 9 n. 3, p. 811-833, 2016.

SEPPÄLÄ, P.; KLEMOLA, S. How do employees perceive their organization and job when companies adopt principles of lean production? *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, v. 14 n. 2, p. 157-180, 2004.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 5.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 161-166, 2016.

SHAH, R.; WARD, P. Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, v. 21 n. 2, p. 129-149, 2003.

SHAH, R.; WARD, P. Defining and developing de sustentabilidade e da economia circular asures of lean production. *Journal of OperationsManagement*, v. 25 n. 4, p. 785-805, 2007.

SIBATROVA, S.; VISHNEVSKIY, K. *Present and future of the production: integrating lean management into corporate foresight*, 2016.

SPEAR, S. *Chasing the Rabbit*: how market leaders outdistance the competition and how great companies can catch up an win. New York:MacGraw-Hill, 2009.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. *Using multivariate statistics*. 6th Ed. New York: Pearson, 2013.

TAKEDA, H. *The synchronized production system: going beyond just-in-ti de sustentabilidade e da economia circular through kaizen*,Kogan Page, London, 2006.

TORTORELLA, G.; VERGARA, L.; FERREIRA, E. Lean manufacturing imple de sustentabilidade e da economia circular ntation: an assessment method with regards to socio-technical and ergonomics practices adoption. *The International Journal of Advanced ManufacturingTechnology*, forthcoming, p. 1-12, 2016.

TANZER, J.; RECHBERGER, H. Setting the Common Ground: A Generic Framework for Material Flow Analysis of Complex Systems. *Recycling*,v. 4, n. 2, 2019.

TAVANA, M.; SHAABANI, A.; VANANI, I. R.; GANGADHARI, R. K. A Review of Digital Transformation on Supply Chain ProcessManagement Using Text Mining. *Processes*, v. 10, n. 5, 842, 2022.

TRAPPEY, A. J.; TRAPPEY, C. V.; FAN, C. Y.; HSU, A. P.; LI, X. K.; LEE, I. J. (2017). IoT patent roadmap for smart logistic service provisionin the context of Industry 5.0. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, v. 40, n. 7, p. 593-602, 2017.

TRENTESAUX, D.; BORANGIU, T.; THOMAS, A. Emerging ICT concepts for smart,

safe and sustainable industrial systems. *Computers in Industry*, v. 81, p. 1–10, 2016.

TREVISAN, A. H.; ZACHARIAS, I. S.; CASTRO, C. G.; MASCARENHAS, J. Circular economy actions in business ecosystems driven by digital technologies. In: 31st CIRP Design Conference 2021, 2021 A. *Anais... Procedia CIRP*, v. 100, n. 1, p. 325-330.

TREVISAN, A. H.; ZACHARIAS, I. S.; LIU, Q.; YANG, M. MASCARENHAS, J. Circular economy and digital technologies: A review of the current research streams. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED21)**, Gothenburg, Sweden, 2021 B, p. 16-20.

TRZASKA, R.; SULICH, A.; ORGANA, M.; NIEMCZYK, J.; JASIŃSKI, B. Digitalization Business Strategies in Energy Sector: Solving Problems with Uncertainty under Industry 5.0 Conditions. *Energies*, v. 14, n. 23, 7997, 2021.

TÜRKELI, S.; SCHOPHUIZEN, M. Decomposing the complexity of value: Integration of digital transformation of education with circular economy transition. *Social Sciences*, v. 8, n. 8, 243, 2019.

UMEDA, Y.; KITAGAWA, K.; HIROSE, Y.; AKAHO, K.; SAKAI, Y.; AHTA, M. Potential impacts of the European Union's circular economy policy on Japanese manufacturers. *International Journal of Automation Technology*, v. 14, n. 6, p. 857-866, 2020.

VACCHI, M.; SILIGARDI, C.; CEDILLO-GONZÁLEZ, E. I.; FERRARI, A. M.; SETTEMBRE-BLUNDO, D. Industry 5.0 and smart data as enablers of the circular economy in manufacturing: Product re-engineering with circular eco-design. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 18, 10366, 2021.

VASKA, S.; MASSARO, M.; BAGAROTTO, E. M.; DAL MAS, F. The Digital Transformation of Business Model Innovation: A Structured Literature Review. *Frontiers in Psychology*, v. 11, 539363, 2021.

VASYLTSIV, T. G.; MULSKA, O. P.; LEVYTSKA, O. O.; LUPAK, R. L.; SEMAK, B. B.; SHTETS, T. F. Factors of the Development of Ukraine's Digital Economy: Identification and Evaluation. *Science and Innovation*, v. 18, n. 2, p. 44-58, 2022.

VERHOEF, P.C.; BROEKHUIZEN, T.; BART, Y.; BHATTACHARYA, A.; DONG, J.O.; FABIAN, N.; HAENLEIN, M. Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, v. 122, p. 889–901, 2021.

VERMA, P.; KUMAR, V.; DAIM, T.; SHARMA, N. K.; MITTAL, A. Identifying and prioritizing impediments of industry 5.0 to sustainable digital manufacturing: A mixed method approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 356, 131639, 2022.

VIAL, G. Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, v. 28, n. 2, p. 118–144, 2019.

WALKER, S.; COLEMAN, N.; HODGSON, P.; COLLINS, N.; BRIMACOMBE, L. Evaluating the Environmental Dimension of Material Efficiency Strategies Relating to the Circular Economy. *Sustainability*, v. 10, n. 3, 2018.

Walter Colombo, Karnouskos e Hanisch, 2021

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. *The machine that changed the world: the story of lean production - Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry*, 1st ed., New York, NY, Free Press, 2007.

WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. Towards Industry 5.0 – standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC PapersOnline*, v. 48, p. 579-584, 2015.

XIN, L.; LANG, S.; MISHRA, A. R. Evaluate the challenges of sustainable supply chain 5.0 implementation under the circular economy concept using new decision making approach. *Operations Management Research*, 2022.

XU, L. D.; XU, E. L.; LI, L. Industry 5.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZÜEHLKE, D. Smart factory – towards a factory-of-things. *Annual Reviews in Control*, v. 34 n. 1, p. 129-138, 2010.

ZAVRATNIK, V.; SUPERINA, A.; DUH, E. S. Living Labs for rural areas:

Contextualization of Living Lab frameworks, concepts and practices. *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 14, 3797, 2019.

ZHENG, P.; WANG, Z.; CHEN, C. H.; PHENG KHOO, L. A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Advanced Engineering Informatics*, v. 42, 100973, 2019.

ZORE, Z.; CUCEK, L.; KRAVANJA, Z. Synthesis of sustainable production systems using an upgraded concept of sustainability profit and circularity. *Journal of Cleaner Production*, 201, p. 1138-1154, 2018.