

**ALINHAMENTO ENTRE ECONOMIA CIRCULAR E INDÚSTRIA 4.0 PARA
SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: proposições para Futuras Pesquisas**

ETIENNE CARDOSO ABDALA
FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV

ALINHAMENTO ENTRE ECONOMIA CIRCULAR E INDÚSTRIA 4.0 PARA SUSTENTABILIDADE NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: proposições para Futuras Pesquisas

Resumo

Ao mesmo tempo em que a gestão da cadeia de suprimentos busca desenvolver competências e recursos para uma operação mais limpa e alinhada à agenda global, as empresas enfrentam os desafios de gerenciamento advindos da transição tecnológica da indústria 4.0 em seu dia-dia. As pressões exercidas por Órgãos superiores como a ONU para cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) levam as organizações a buscarem desenvolver e implementar princípios de uma Economia Circular. Na tentativa de compreender os benefícios da Indústria 4.0 para implementação de práticas sustentáveis na cadeia produtiva, de maneira a torna-la parte de uma Economia Circular, este estudo busca compreender o alinhamento entre estes temas, identificando possíveis facilitadores, barreiras e consequências da aplicação de tecnologias inovadoras para as três dimensões da sustentabilidade.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Economia Circular, Sustentabilidade

Abstract

At the same time that supply chain management seeks to develop skills and resources for a cleaner operation and aligned with the global agenda, companies face the management challenges arising from the technological transition of industry 4.0 in their daily lives. The pressures exerted by higher bodies like the UN to fulfill the Sustainable Development Goals (SDGs) lead organizations to seek to development and implementation of a Circular Economy principles. In an attempt to understand the benefits of Industry 4.0 for implementing sustainable practices in the supply chain, in order to make it part of a Circular Economy, this project seeks to develop the alignment between these themes, identifying possible drivers, barriers and consequences of the innovative technologies application for the three dimensions of sustainability

Keywords: Industry 4.0, Circular Economy, Sustainability

1. INTRODUÇÃO

A Confederação das Nações Unidas (ONU) estabeleceu em 2015 o que se denomina Agenda 2030, com 17 diferentes objetivos do desenvolvimento sustentável a serem atingidos por Organizações sem fins lucrativos, Empresas e Instituições Governamentais. Para o alcance destes objetivos até 2030 as Organizações de um modo geral devem buscar reformulações e reconfigurações de suas estruturas, recursos e processos a partir de uma visão mais sustentável.

O cumprimento da agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU até 2030 (OECD, 2015; Sachs, 2012) e a pressão sofrida por diferentes stakeholders para uma produção mais limpa contribuem para as mudanças em na gestão das operações (Lozano, 2012), desde a concepção dos produtos até o pós-consumo. Segundo Beier, Niehoff e Xue

(2018) a indústria é um dos principais fatores para que a economia se torne sustentável, e a crescente transformação da produção industrial rumo a digitalização é um ponto relevante sob o ponto de vista do desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, em que se torna necessário a implementação de sistemas produtivos que envolvam práticas sustentáveis, surgem dois conceitos importantes tratados com destaque a partir da última década: o conceito de Indústria 4.0 e de economia circular. Ambos podem apresentar certa simbiose ao tratar de questões relacionadas a necessidade de tornar a produção mais sustentável. São abordagens distintas, mas que fornecem tecnologias, metodologias e modelos que ajudam a compreender e a melhorar as condições do ambiente produtivo no que se refere a sustentabilidade nas três dimensões (econômica, social e ambiental).

A abordagem de indústria 4.0 permeia os avanços tecnológicos em busca da digitalização dos processos industriais (Rojko, 2017) e se desenvolve na implementação de áreas estratégicas da indústria como a logística e a gestão de cadeia de suprimentos, trazendo benefícios desses avanços como a descentralização, a avaliação mais precisa da demanda, a redução do efeito chicote (Hoffman, Husch, 2017) e a gestão mais integrada e transparente das cadeias de suprimentos (WITKOWSKI, 2017). Para Stock e Seliger (2016) as adaptações para informatizar máquinas mecânicas podem reduzir perdas de matéria prima e energia elétrica, bem como contribuir no fornecimento de dados sobre qualidade e produtividade.

A capacidade da indústria 4.0 de realmente concretizar as técnicas produtivas já utilizadas pela indústria e torná-las práticas cotidianas se deve em grande parte ao alto nível de virtualização, digitalização e integração expresso pelas tecnologias existentes e potencializam não apenas a produção, mas também a conscientização ambiental (CARVALHO et al. 2018). Apesar da pressão pela incorporação de questões ambientais e com a crescente demanda por informações, a maioria das empresas ainda sabe muito pouco sobre o potencial do meio ambiente e impactos sociais de suas redes de produção (FIORINI e JABBOUR, 2018).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é levantar possibilidades de alinhamento entre Economia Circular e Indústria 4.0 para sustentabilidade na cadeia de suprimentos. O estudo busca também identificar os facilitadores e barreiras para esse alinhamento, a partir da revisão de literatura, estabelecendo ainda as implicações sociais, ambientais e econômicas das tecnologias da indústria 4.0.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E DISCUSSÃO

2.1. Economia Circular: conceitos, princípios e aplicação

Durante a evolução da tradicional economia linear as indústrias fabricavam os produtos e vendiam o produto ao cliente final, que o descartava quando não era mais necessário. Esse fenômeno aumentava a necessidade de ser sustentável em termos do meio ambiente, economia e no aspecto social, que leva a um novo paradigma, ou seja, o que se denomina Economia Circular (EC). A economia circular é uma cadeia de suprimentos em circuito fechado que se concentra nos aspectos restauradores e regenerativos, permitindo que o sistema industrial se adapte ao o conceito de 'fim de vida' com restauração, eliminando o uso de materiais tóxicos, e tem como objetivo reutilizar e eliminar desperdícios através da

implementação dos modelos de sistemas de produtos e design dos materiais (HEYNES et al. 2018; RAJPUT e SINGH, 2019).

Em muitos casos a Economia Circular é compreendida como sendo uma abordagem que busca o gerenciamento das perdas no processo produtivo. Esse ponto de vista limitado sugere que o conceito envolve reciclagem, reutilização e recuperação de bens, o que ao invés de sugerir uma ‘economia’ pode levar a um custo de produção maior, sugerindo apenas um tratamento de resíduos ao final do processo, o invés de buscar métodos de prevenção de geração destes resíduos (GHISELLINE, CIALANI, ULGIATI, 2016).

Uma das publicações mais citadas sobre conceitos e relevância da Economia Circular para o mundo e as organizações é a da Fundação Ellen MacArthur. Esta publicação apresenta um conjunto de informações relacionadas a economia circular e explicita os motivos pelos quais a transição de uma produção linear para uma circular de fato importa para a gestão organizacional e a economia global. Conforme o relatório da Ellen MacArthur Foundation (2015) economia circular é aquela que é restauradora e regenerativa, que por meio de um design apropriado visa manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos. Esse novo modelo econômico busca, em última análise, dissociar o desenvolvimento da economia global do consumo finito de recursos. Desta maneira possibilita a criação de objetivos políticos ‘chave’ como a geração de crescimento econômico em conjunto com a criação de empregos e redução de impactos ambientais, como por exemplo, as emissões de carbono para atmosfera.

Sehnen et al. (2019) destacam as diferenças conceituais entre economia circular e outras terminologias que se assemelham no tratamento conferido as questões ambientais e a percepção do sistema de produção como um processo cíclico. Para os autores a economia circular tem um caráter mais restaurador enquanto a concepção de cadeia de circuito fechado, onde se insere a logística reversa, tem caráter preventivo. De um modo geral, a economia circular está mais envolvida com o prolongamento do ciclo de vida útil de um produto, o design de materiais duráveis, seu reparo e uso direto, e não somente com reciclagem e remanufatura, geralmente ações relacionadas ao prolongamento do uso de peças e materiais durante o processo e ao final da vida útil.

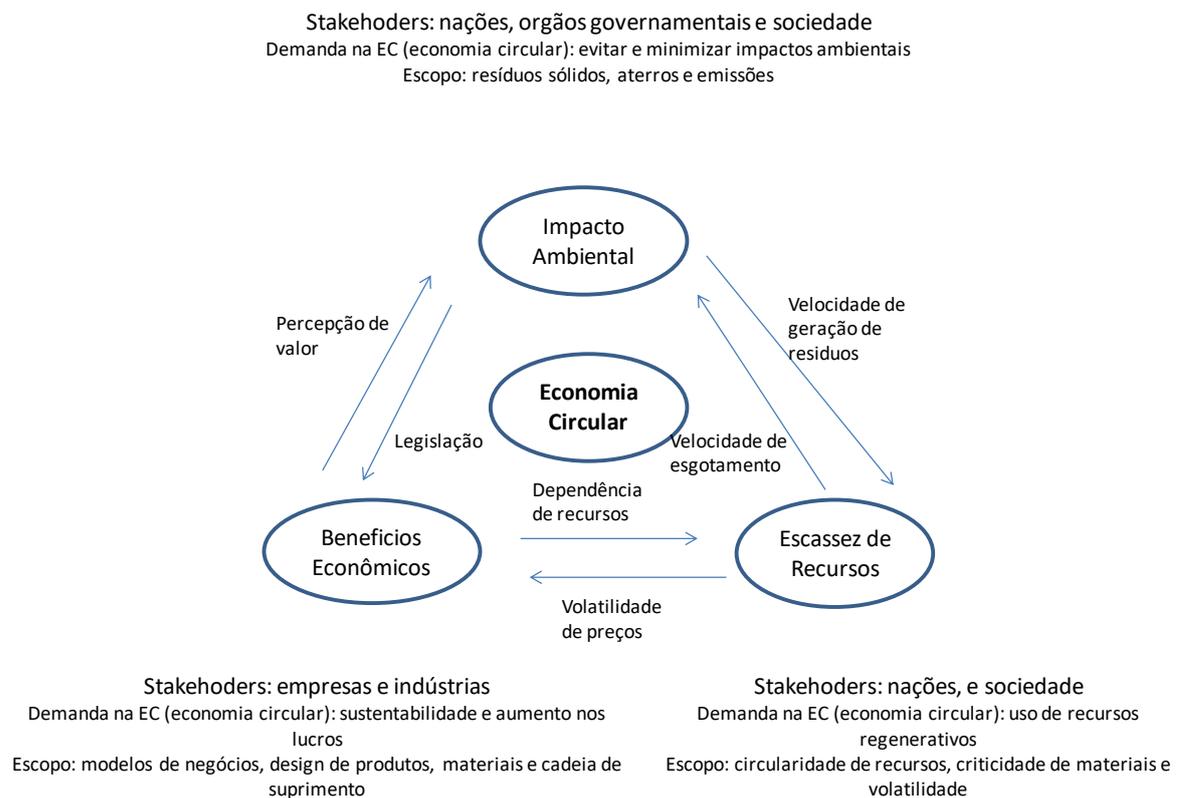
Nesse contexto, a economia circular apresenta-se com uma visão mais extensiva e ampla e menos pontual que outras atividades como produção mais limpa, ecologia industrial, sistema *cradle to cradle* (sistema cíclico em lógica de reuso) dentre outras. Assim como destaca Sehnen et al. (2019), Michelini et al. (2017) já argumentavam que a Economia Circular traz a ideia de restauração e circularidade, a fim de substituir o tradicional conceito de fim de vida, mudando para o uso de fontes renováveis energia, eliminando o uso de produtos químicos tóxicos, e visa a eliminação de resíduos através do design superior do material, produtos, sistemas e modelos de negócios, reforçando assim uma concepção mais vasta e complexa do tema.

É notável, portanto, que há uma relação direta entre o termo economia circular e as preocupações ambientais que aumentaram gradativamente a partir da década de 70. Mas não necessariamente os benefícios ou vantagens econômicas desta abordagem cíclica são percebidas pelas organizações em geral. Segundo Lieder e Rashid (2016) a maioria das análises e discussões sobre Economia Circular e em direção ao desenvolvimento desta concepção de desenvolvimento é voltada em grande medida para a escassez de recursos e uma perspectiva de impacto ambiental, deixando ausentes os benefícios econômicos organizacionais em geral e dos atores individuais que delas participam.

Esta é, portanto, uma lacuna de pesquisa considerando o fato de que atividades essenciais para o sucesso da implementação da economia circular, como os modelos de negócios, design de produtos, design da cadeia de suprimentos e escolha de materiais estão no controle e, finalmente, são determinados pelas empresas manufatureiras a partir da motivação para obter benefícios econômicos. Nesse cenário é óbvio que uma transição para a Economia Circular não parecerá favorável para as empresas de manufatura, se for percebido como restrição às atividades industriais em vez de uma oportunidade para negócios e crescimento sustentáveis (LIEDER e RASHID, 2016).

A figura 1 a seguir representa os diversos stakeholders envolvidos na Economia Circular, suas respectivas demandas e os diversos elementos associados as dimensões econômica e ambiental:

Figura 1: Perspectivas da Economia Circular



Fonte: adaptado de Lieder e Rashid (2016)

A figura 1 sintetiza os elementos necessários para a implementação das atividades relacionadas à economia circular, onde se destaca o impacto ambiental, a escassez de recursos e os benefícios econômicos, pilares estes que devem ser tratados em conjunto para que o processo seja sistêmico. Algumas sinalizações do esquema apresentado na figura indicam que há integração entre as dimensões. Entre impacto ambiental e benefícios econômicos, dois vetores sinalizam a troca: a necessidade de seguir a legislação ambiental afetando a questão

econômica, e a percepção de valor econômico impacto no meio ambiental. A dependência de recursos por sua vez parte do pressuposto que a economia gira em torno dos recursos, mas que esses são escassos, e a volatilidade dos preços provocada pela escassez impacta a economia. Entre escassez e meio ambiente, nota-se que existe uma velocidade tal de geração de resíduos no meio ambiente e que afeta diretamente os recursos, enquanto a velocidade de escassez ou esgotamento destes recursos gera impacto no meio ambiente.

Para além das discussões propostas por Lieder e Rashid (2016) e Sehnem et al. (2019) há ainda uma de relativa importância que trata da transição da concepção de uma cadeia de suprimento sustentável para a Economia Circular. O termo gestão de cadeias de suprimento sustentáveis designado para conceituar atividades de gestão sustentável em uma cadeia de suprimento surge anos após a construção de um referencial teórico mais detalhado sobre gestão de cadeia de suprimentos, e tem seu destaque a partir dos artigos publicados por Kleindorfer, Singhal e Van Wassenhove (2005); Linton, Klassen e Jayaraman (2007), Carter e Rogers (2008) e Seuring e Muller (2008).

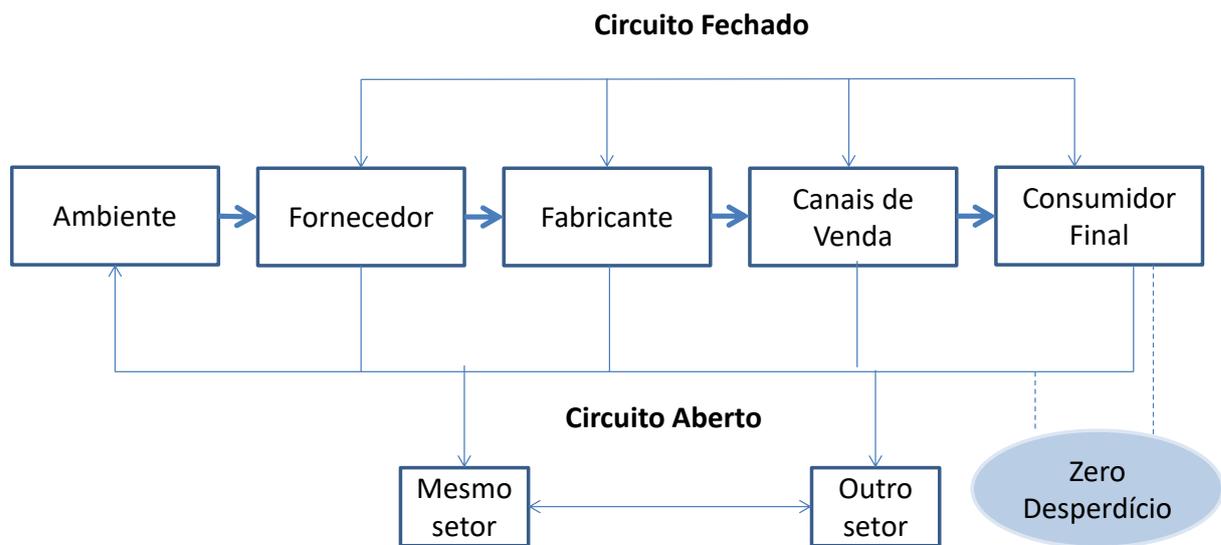
Carter e Rogers (2008) definem a Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável como uma rede estratégica integrada, de maneira a alcançar os objetivos sociais, ambientais e econômicos em um sistema de coordenação transparente de negócios e processos interorganizacionais, para melhoria de desempenho econômico a longo prazo de uma organização focal e sua cadeia de suprimentos, envolvendo especialmente fornecedores, distribuidores e outros stakeholders. O conceito é voltado para a integração de práticas sustentáveis de todos os participantes da cadeia.

Na interpretação de Genovese et al. (2017) estes conceitos de ‘cadeias verdes’ e cadeias de suprimentos sustentáveis foram desenvolvidos paralelamente ao de Economia Circular, embora os autores salientam que existem diferenças fundamentais entre os temas. A gestão de uma cadeia de suprimentos sustentável procura integrar as preocupações ambientais, minimizando os fluxos de materiais e reduzindo as implicações negativas dos processos de produção e consumo, enquanto a economia circular tem como foco a expansão das fronteiras da sustentabilidade ambiental para a transformação de produtos e processos, de modo a propiciar um relacionamento cooperativo entre meio-ambiente e economia em direção ao desenvolvimento e criação de valor compartilhado.

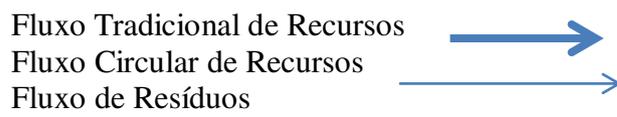
De modo a definir um termo robusto que envolva os conceitos de cadeia de suprimentos e economia circular Farooque et al. (2019) definem que a Gestão da Cadeia de Suprimentos Circular é a integração do pensamento circular com a gestão da cadeia de suprimentos e seus ecossistemas industriais e naturais. Uma cadeia de suprimentos circular restaura sistematicamente os materiais técnicos e regenera materiais biológicos em direção a uma visão de desperdício zero, por meio de sistemas de inovação em modelos de negócios e do projeto das funções da cadeia de suprimentos de produto /serviço no desenho de ciclo de vida, envolvendo todos os *Stakeholders*, desde a concepção produto até o fim de sua vida útil e gerenciamento de resíduos pós-consumo.

A seguir apresenta-se a figura 2 esquematizada representativa dos diversos fluxos de uma cadeia produtiva, considerando a perspectiva da cadeia de suprimentos circular:

Figura 2: Cadeia de Suprimentos Circular



Legenda



Fonte: Adaptado de Farooque et al. (2019)

Conforme argumentam Batista et al (2018) no geral, embora a análise da literatura indique pesquisas com referências diretas a "circular" (ou a ideia de circularidade) em cadeias de suprimento, sua caracterização ainda permanece marginal em termos do uso no campo da gestão de operações. Os autores acreditam que há uma falta de conceitualização do que constitui uma "cadeia de suprimentos circular" no contexto de um ideal de Economia Circular. Até agora, devido a associações com processos restauradores e regenerativos, as narrativas reversas e de circuito fechado oferecem úteis contribuições para quadros teóricos que ligam pesquisa de operações da cadeia de suprimentos com princípios e práxis da Economia Circular.

2.2. Indústria 4.0, Sustentabilidade e Economia Circular

Um dos temas muito discutidos a partir de 2012 pela academia tem sido a indústria 4.0, suas origens, conceitos e perspectivas futuras. Segundo Rodrigues, De Jesus e Schutzer (2016) estudos sobre a indústria 4.0 tiveram início na Alemanha, no ano de 2012, com o programa *Industrie 4.0*. Na concepção em que foi constituído, o programa consiste na 4ª revolução industrial (Hoffman & Husch, 2017), sendo uma resposta à demandas competitivas globais, e um modo de colocar a Alemanha como um dos países líderes em tecnologia. A indústria 4.0 pretende aliar sistemas de controle cibernéticos e internet, permitindo comunicação entre

pessoas e produtos, sistemas técnicos e artificiais, denominados ‘*smart systems*’ ou sistemas inteligentes (ANDERL, 2014).

Para Martínez-Olvera e Mora-Vargas (2019) a competição dinâmica global internacional impõe uma série de desafios às empresas de negócios. Esses desafios exigem que as empresas amadureçam e se tornem algo mais inteligente e mais eficiente, desenvolvendo assim novos modelos de negócios. Os principais recursos relacionados ao conceito da Indústria 4.0 - que tem se tornando muito popular entre as organizações de manufatura – expressam a resposta para os desafios desta competição global.

Basicamente, o objetivo principal da Indústria 4.0 é reforçar e expandir a competitividade organizacional a longo prazo, pelo aumento da flexibilidade e eficiência da produção por meio da comunicação, informação e inteligência. Esta ‘quarta’ revolução industrial leva a impactos dentro da organização, na tecnologia de fatores de produção, organização e funcionários; e também fora dela, no meio-ambiente e sociedade (GABRIEL e PESSL, 2016). Stock e Seliger (2016) argumentam que para além da contribuição ambiental, a indústria 4.0 apresenta uma ótima oportunidade para agregar criação de valor em sustentabilidade industrial, nas três dimensões: econômica, social e ambiental.

Scheer (2015) acredita que o foco principal da indústria 4.0 costuma ser colocado singularmente na automação da fábrica. No entanto, é importante notar como as novas tecnologias de informação lideradas pela Internet (em particular a Internet das Coisas) afetam todas as funções significativas da produção industrial e estão levando a novos modelos de negócios com novos produtos e serviços. Esse desenvolvimento significativo, conhecido também como digitalização da economia, está afetando todos os setores.

A Indústria 4.0 permite que as máquinas da fábrica se tornem independentes, de modo que possam planejar, programar e produzir mercadorias automaticamente sem um operador. Assim a indústria 4.0 aprimora a flexibilidade na produção, o que leva a uma maior personalização de produtos. Nesse ambiente, as máquinas se comunicam entre si para a execução do plano de produção. Os sistemas inteligentes de fábrica funcionam em segundo plano e estão cientes dos objetos no ambiente. No entanto, as empresas enfrentam certos desafios para adoção de projetos da Indústria 4.0 e que podem potencialmente impactar aspectos de sustentabilidade na cadeia de suprimentos (BAG et al. 2018)

Alguns autores que iniciaram a discussão sobre o tema são Kagerman et al. (2013); Stock e Seliger (2016). Stock e Seliger (2016) destacam que um dos paradigmas da Indústria 4.0 será a criação de um valor industrial mais sustentável. O fluxo de dados inteligentes entre os diferentes elementos das redes de criação de valor na Indústria 4.0 são compartilhados através da nuvem. A fábrica se tornará assim um fornecedor e consumidor de energia ao mesmo tempo. Essa rede inteligente, bem como o sistema de gerenciamento de energia da fábrica, terá que ser capaz de lidar com a dinâmica de requisitos de fornecimento e *feedback* de energia.

Conforme Oztemel e Gursev (2020) especialistas estimam que a Indústria 4.0 e o progresso terão um efeito enorme na vida social, crença compartilhada por Maresova et al. (2018) e Sony e Naik, (2019). Isso naturalmente estimulará a produção industrial para melhorar seus processos de fabricação para lidar com os requisitos do cliente e sustentar a vantagem competitiva. Obviamente a fabricação futura será mais inteligente, mais flexível, mais adaptável, mais autônoma e mais ‘não tripulada’, baseada em sensores (padrões da Indústria 4.0) (OZTEMEL e GURSEV ,2020).

A contribuição da Indústria 4.0 para a criação de valor industrial mais sustentável será notável no futuro (Stock e Seliger, 2016; Kamble, Gunasekaran, e Gawankar, 2018). Na literatura existente, essa contribuição é principalmente atribuída às dimensões econômicas e ambientais da sustentabilidade. Além da sustentabilidade econômica e ambiental, a Indústria 4.0 tem um enorme potencial para realizar a criação sustentável de valor industrial em dimensões sociais (KAMBLE, GUNASEKARAN, e GAWANKAR, 2018).

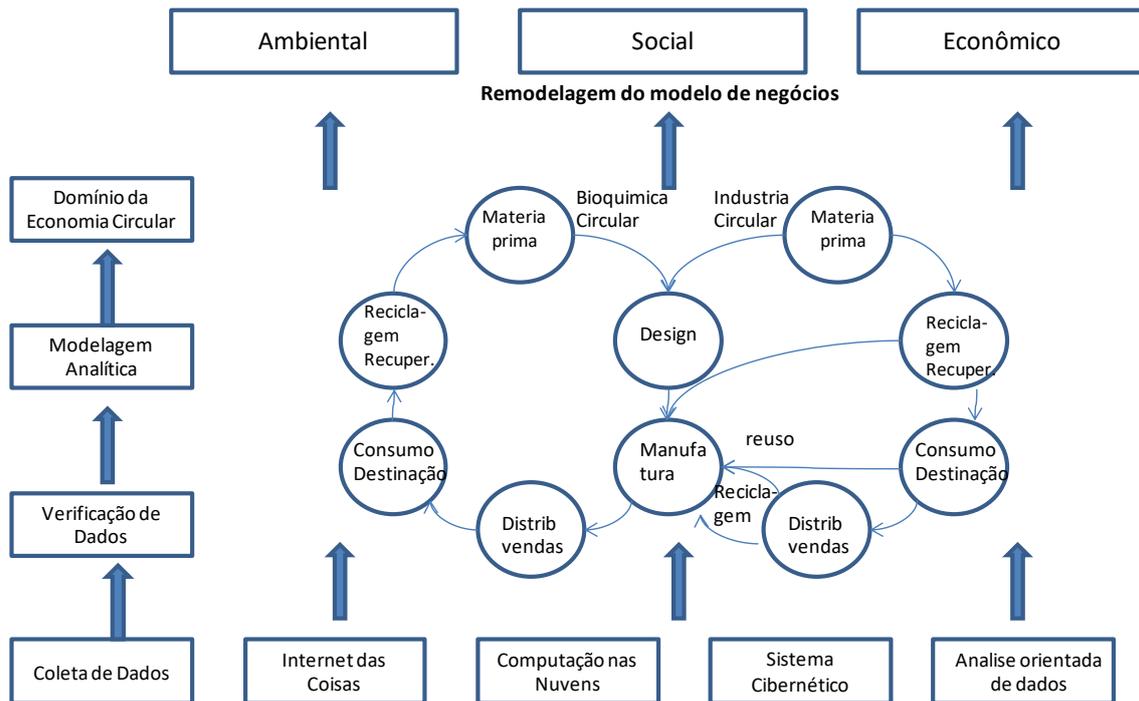
Yang et al. (2018) argumentam que algumas das oportunidades que a Indústria 4.0 traz para a indústria de remanufatura, por exemplo, são discutidos e apresentados a partir das perspectivas de "Dados do ciclo de vida inteligente", "Fábrica inteligente", e "Serviço inteligente". Observa-se que o aumento da digitalização em toda a cadeia de suprimentos e o aumento da inteligência *ciber-física* dentro da fábrica abordou efetivamente várias preocupações importantes que o processo de remanufatura possui, o que potencialmente reduzirá o custo de transformação.

Percebe-se a importância da economia sustentável por meio de inovações do ambiente de fabricação, mobilidade inteligente e armazenagem na nuvem, recursos de computação e segurança da informação, aqueles dos quais podem ser considerados requisitos básicos da Indústria 4.0. A concepção de indústria 4.0 também inclui alguns recursos adicionais como; facilidade de monitoramento do sistema e diagnóstico, propiciando um ambientalmente amigável e sustentável por meio de uma abordagem de economia de recursos, tornando o processo mais eficiente (OZTEMEL e GURSEV, 2020).

Segundo De Sousa Jabbour et al. (2019) a Ellen MacArthur Foundation (2015) desenvolveu um modelo para a implementação dos princípios da Economia Circular nos modelos de negócios. Essa metodologia é denominada RESOLVE e propõe seis ações organizacionais para direcionar as atividades empresariais: regeneração (baseada numa mudança para o uso de energia e materiais renováveis), compartilhamento (inspirado na economia compartilhada), otimização (estratégia centrada na tecnologia, com uso de sensores, automação e big data), *ciclo* (baseado em ciclos biológicos e técnicos), virtualização (estratégia focada na substituição de serviços físicos pelo virtual), troca (envolvendo a substituição de bens antigos e não renováveis por materiais avançados e renováveis).

Baseado em uma revisão de literatura e utilizando dados da pesquisa de Rajput e Singh (2019), Pham et al. (2019) desenvolveram o modelo de Economia Circular com base nos princípios da Indústria 4.0 a partir de uma metodologia denominada Modelo Estrutural Interpretativo. Segundo Pham et al. (2019) essa metodologia transforma modelos de sistemas mentais pouco esclarecidos em modelos visíveis e bem definidos, úteis para várias finalidades. A figura 3 a seguir representa uma adaptação deste modelo:

Figura 3: Modelo Economia Circular Apoiada pela Indústria 4.0



Fonte: adaptado de Pham et al. (2019)

O modelo estabelecido por Pham et al. (2019) permite observar os diversos dispositivos existentes a partir da revolução da Indústria 4.0 e seu ajuste e alinhamento às condições e princípios propostos pela Economia Circular. Rajput e Singh (2019) em concordância com De Souza Jabbour et al. (2018), acreditam que a Indústria 4.0 e a Economia Circular motivaram as organizações a avançarem na cadeia de suprimentos, oferecendo uma nova perspectiva de produção e consumo. Portanto, a sustentabilidade pode ser alcançada através da integração entre Economia Circular e Indústria 4.0. Diante da necessidade de conexão entre os temas para manufatura, existem facilitadores e barreiras para estabelecer o link entre estes eles no design de uma cadeia de suprimentos voltada para Sustentabilidade (RAJPUT e SINGH, 2019).

O alinhamento entre Economia Circular e Indústria 4.0 busca, portanto, a redução da emissão de poluentes, reuso e reciclagem de materiais, destinação adequada de resíduos e materiais para o desenho da cadeia de suprimentos; otimizando a logística o descarte pós consumo e melhorando a eficiência no uso dos recursos a partir de elementos apresentados no esquema da figura 2, como sistema cibernética, computação em nuvens, internet das coisas e análise orientada de dados. Desta maneira, possibilita a visualização de um novo modelo de negócios para alcançar o *triple bottom line* considerando elementos da Indústria 4.0 nas dimensões ambiental, econômica e social.

2.3. Discussão

Existem alguns estudos internacionais recentes que buscam estabelecer a relação entre Economia Circular, Cadeia de Suprimentos e Indústria 4.0. Além de Rajput e Singh (2019), De Sousa Jabbour et al. 2018; Hann 2020, Kamble, Gunasekaran, e Gawankar, 2018,

Manavalan e Jayakrishna, 2019; Man e Strandhagen, 2017, Nascimento et al. 2019 também tratam desta associação.

Para Kerin e Pham (2019) as empresas de remanufatura devem considerar as práticas sustentáveis que estão relacionadas com a Economia Circular durante planejamento e implementação de princípios e técnicas da indústria 4.0. O aumento contínuo esperado dos custos de matéria-prima incentivará as indústrias regulamentadas e não regulamentadas a considerar os princípios da Economia Circular, incluindo a remanufatura, e poderá haver uma mudança no desenvolvimento dos modelos de Sistema Produto Serviço (SPS), de modo que a remanufatura necessitará se adequar.

È perceptível que as tecnologias advindas da indústria 4.0 possibilitam a implementação de práticas mais sustentáveis nas cadeias produtivas, especialmente no que diz respeito a redução do uso de recursos naturais, redução na emissão de poluentes, processos mais integrativos de produção mais limpa, técnicas mais apropriadas para reuso e reciclagem de materiais, segurança no armazenamento de produtos e informações, transmissão rápida e confiável de informações, melhorias gerais nas condições de trabalho.

Todas as condições inerentes a essas tecnologias levam a crença de que a inovação é essencial para o desenvolvimento e manutenção de práticas sustentáveis. No entanto, sabe-se que os processos altamente automatizados provenientes dessas tecnologias irão afetar significativamente o trabalho e a vida dos indivíduos nas organizações.

A implementação de novas tecnologias e a substituição do trabalho pelo capital é um processo que ocorre em todos os setores, a fim de reduzir custos, aumentar a produtividade e facilitar o fornecimento de soluções individuais para os clientes. A maioria dos estudos diz respeito às indústrias de transformação, embora a iniciativa Indústria 4.0 seja relevante em todos os setores. Algumas constatações importantes, resultados de estudos e pesquisas, estão relacionadas com a discussão sobre as implicações econômicas e de negócios da Indústria 4.0, e incluem: ambiente de trabalho, habilidades desenvolvimento econômico, crescimento e aspecto macroeconômico, sustentabilidade e meio ambiente, política, mudança nos processos de negócios, digitalização, fábrica inteligente e fabricação inteligente. (Maresova et al. 2018).

A maioria dos estudos revisados por Kamble, Gunasekaran, e Gawankar (2018).se concentrou no desenvolvimento dos países, enumerando os benefícios e as limitações da Indústria 4.0. No entanto, os autores consideram que a tendência atual da pesquisa não se concentra em investigar as relações entre os principais fatores de influência na implementação da Indústria 4.0 São necessários mais estudos sobre a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 em diferentes ambientes da indústria para aprimorar o entendimento desses fatores.

Para tanto os estudos levantados sugerem os seguintes questionamentos que podem futuramente ser respondidos por pesquisas futuras:

- Como promover uma Cadeia de Suprimentos Circular (CSC) a partir de inovação e uso de tecnologias da indústria 4.0;
- Quais são as oportunidades e barreiras para as prática sustentáveis promovidas pela Economia Circular adotando tecnologias da indústria 4.0;
- Como a industria 4,0 pode resultar em modelos de negócios sustentáveis inovadores na manufatura;

- Como será o impacto da indústria 4.0 no Brasil no que tange as relações de trabalho – aumento da digitalização e automação ; O que será necessário realizar e desenvolver para que a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 não cause impactos significativos como aumento de taxas de desemprego;
- Como as tecnologias da indústria 4.0 podem propiciar integração entre os stakeholders em busca de uma economia circular. Com base na Figura 1 deste estudo observam-se as seguintes vantagens desta integração:
 1. reduzir a velocidade de esgotamento e a geração de resíduos e emissão de gases;
 2. agilizar o atendimento a legislações vigentes;
 3. reduzir a dependência de recursos naturais;
 4. aumentar o valor percebido e agregado;
 5. controlar a volatilidade de preços;

Torna-se relevante o desenvolvimento de pesquisas nacionais que auxiliem a construção de modelos para a implementação de requisitos e tecnologias da indústria 4.0 de modo a tornar o sistema de produção das Organizações alinhado aos princípios da Economia Circular. As lacunas identificadas por De Sousa Jabbour et al. (2018), (Sony e Naik, 2019), Carvalho et al. (2018) justificam a importância do tema para a construção de cadeias sustentáveis. Luthra e Manga (2018) ainda destacam a necessidade de estudos em países emergentes, onde a indústria 4.0 é ainda uma novidade, como é caso da Índia e Brasil.

4. CONCLUSÃO

A proposta de alinhamento dos temas possibilitará o desenvolvimento de modelo teórico-prático para implementação de ações sustentáveis que caracterizam a Economia Circular, utilizando os princípios e tecnologias da Indústria 4.0. Propõe-se a construção de um modelo com caráter nacional sendo a pesquisa desenvolvida a partir de uma revisão sistemática em primeira etapa e pesquisa aplicada em um segundo momento, a fim de desenvolver proposições de alinhamento entre os temas e aplicabilidade de tais tecnologias para a sustentabilidade da cadeia produtiva de empresas brasileiras. Um novo estudo possibilitará então, a partir de seus resultados, a expansão do conhecimento e da modelagem de temas relevantes e recentes na gestão e engenharia de produção.

Ao vincular e alinhar Economia Circular e Indústria 4.0, novos modelos de negócios com compartilhamento de economia podem ser projetados com diferentes abordagens, com ideias sobre novas circunstâncias favoráveis para alcançar uma cadeia de suprimentos sustentável. Este fornece uma visão abrangente do uso do material, biodegradável, e resíduos de embalagens para os profissionais da indústria e poderia implementar a economia circular usando materiais puros e de alta qualidade com aplicativos intersetoriais, contribuindo desta maneira para a gestão prática/empresarial. Por outro lado, do ponto de vista das contribuições teóricas, ao se estudar o alinhamento entre os temas é possível otimizar a ecoeficiência, ecoeficácia e princípios de design ecológico que são parcialmente explorados. A parte principal da prática de princípios da economia circular é monitorar o progresso que está subdesenvolvido e pode ser ampliado com a implementação da Indústria 4.0 (RAJPUT e SINGH, 2019).

O desenvolvimento de novos estudos permite novas possibilidades de pesquisa em um campo que ainda carece de maior aprofundamento. Como o tema da indústria 4.0 é recente, a relação

entre este conceito, sustentabilidade e economia circular nas operações, área que depende da tecnologia para se aperfeiçoar, as investigações propostas no projeto visam não só o desenvolvimento no campo científico, como também instigam outros pesquisadores a continuar avançando no tema.

Referências

BAG, S. et al. Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. **Benchmarking: An International Journal**. 2018.

BEIER, G. NIEHOFF, S., XUE, B. More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things? **Applied Sciences**. 2018.

BATISTA, L. et al. In search of a circular supply chain archetype – a content-analysis-based literature review. **Production Planning and Control**. v. 29, n. 6, p. 438-451. 2018.

CARVALHO, N. et al. Manufacturing in the fourth industrial revolution: a positive prospect in sustainable manufacturing. **Procedia Manufacturing**. v. 21, p. 671–678. 2018.

DE SOUSA JABBOUR, A. B. L. ET al.. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. **Annals of Operations Research**. v. 270. P. 273-286. 2018.

DE SOUSA JABBOUR, A. B. L. et al. Circular economy business models and operations management. **Journal of Cleaner Production**. v. 235, p. 1525-1539. 2019.

FAROOQUE, M. et al. (2019). Circular supply chain management: a definition and structured literature review. **Journal of Cleaner Production**. v. 228. p. 882-900. 2019.

GABRIEL, M.; PESSL, E. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. **Annals of Faculty Engineering Hunedoara. International Journal of Engineering**. v. 14, n. 2, p. 131-136. 2016.

GENOVESE, A.; ACQUAYE, A. A.; FIGUEROA, A.; LENNYKOH, S. C. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega**. v. 66 p. 344–357. 2017.

GHISELLINI, P., CIALANI, C. AND ULGIATI, S. (2016), “A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems”, **Journal of Cleaner Production**, Vol. 114 No. 5, pp. 11-32.

HANN, G. J. Industry 4.0: a supply chain innovation perspective. **International Journal of Production Research**. v.. 58, n. 5, p. 1425–1441. 2020.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. **Acatech**, p.13–78. 2013.

- KAMBLE, S. S; GUNASEKARAN, A; GAWANKAR, S. A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**. V. 117, p. 408–425. 2018.
- KERIN, M.; PHAM, D. T. A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. **Journal of Cleaner Production**. v. 237. 2019.
- LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**. v. 11, p. 36-51. 2016
- LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies' systems: An analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**. v. 25, p. 14-26. 2012.
- LUTHRA, S.; MANGLA, S. K. Evaluating Challenges to industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety And Environmental Protection**, 117,168-179. 2018.
- MAN, J. C.; STRANDHAGEN, J. O. An Industry 4.0 research agenda for sustainable business models. **Procedia CIRP** 63. p. 721 – 726. 2017.
- MARESOVA, P. et al. Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics. **Economies**. v. 6. n. 3. 2018.
- MARTÍNEZ-OLVERA, C.; MORA-VARGAS, J. A comprehensive framework for the analysis of industry 4.0 value domains. **Sustainability**. v. 11, n. 2960. 2019.
- NASCIMENTO, D.L.M. et al. Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: a business model proposal. **Journal Manufacturing Technology Management**. v. 30 n. 3, p. 607-627. 2019.
- OECD. Organisation for Economic Co-operation and Development. Sustainable Development Goals. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>, 2015.
- OZTEMEL, E.; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**. v. 31, p. 127–182.2020.
- PHAM, T. T. et al. Industry 4.0 to Accelerate the Circular Economy: A Case Study of Electric Scooter Sharing. **Sustainability**. v. 11. 6661. 2019.
- RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**. v. 49. p. 98–113.2019.
- ROJKO, A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)**. v. 11, n.5, p. 77-90. 2017.
- SACHS, Jeffrey D. From millennium development goals to sustainable development goals. **The Lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2206-2211, 2012.

SCHEER, A. W. Industry 4.0: from vision to implementation. Whitepaper n. 9. 2015. Disponível em: <https://www.scheer-group.com/en/whitepaper-industrie-4-0-1/>

SEHNEM, S.; VAZQUEZ-BRUST, D.; PEREIRA, S. C. F.; CAMPOS, L. M.S. Circular economy: benefits, impacts and overlapping. **Supply Chain Management: An International Journal**. v. 24, n. 6, p. 784-804. 2019.

SONY, M.; NAIK, S. (2019): Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. **Production Planning & Control**. 2019. DOI: 10.1080/09537287.2019.1691278.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **Procedia CIRP** 40. v. 40, p. 536-541. 2016.

WITKOWSKI, Krzysztof. Internet of Things, Big Data, Industry 4.0–Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 763-769, 2017.

YANG, S. et al. Opportunities for industry 4.0 to support remanufacturing. **Applied Sciences**. v. 8, n. 1177. 2018.