

**ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE: análise do estado-da-arte da
produção científica**

ANA KÉSIA COSTA DA SILVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI (UFCA)

JENIFFER DE NADAE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI (UFCA)

MANOEL BASTOS GOMES NETO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI (UFCA)

Agradecimento à orgão de fomento:

Universidade Federal do Cariri (UFCA)

ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE: análise do estado-da-arte da produção científica

1 INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais tem sido crescente, as mudanças climáticas têm passado de previsões para realidade e os ecossistemas biológicos estão se deteriorando gradativamente. Em 1950 a população mundial era estimada em pouco mais de 2,5 bilhões de pessoas. Atualmente, aproxima-se dos 7,6 bilhões de habitantes e estima-se que o crescimento populacional seja de cerca de 83 milhões de pessoas a cada ano. Para 2030 espera-se que este número atinja 8,6 bilhões, chegando a 9,8 bilhões em 2050 e ultrapassando 11,2 bilhões em 2100 (IPCC, 2013).

Este crescimento populacional traz preocupações acerca de como serão as condições ambientais para amparar tantas pessoas. No entanto, só o aumento do número de habitantes do planeta não é capaz de transmitir uma previsão dos níveis de extração de recursos naturais e de descarte de lixo na atmosfera. É preciso considerar também que o modo atual de produzir e consumir tem adquirido aspectos desfavoráveis como redução da vida útil dos produtos e baixos índices de reuso, acondicionamento e reciclagem, influenciado no aumento nas taxas de consumo de recursos naturais.

Neste sentido, esforços e iniciativas devem ser empreendidas com o intuito promover condições para que os futuros habitantes do planeta tenham a qualidade de vida necessária para sua sobrevivência. Assim, em 1972 a questão ambiental foi colocada nas agendas nacionais e internacionais a partir da realização da primeira Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (OLIVEIRA FILHO, 2004).

Já em 1987 a Comissão Brundtland delineou o conceito de desenvolvimento sustentável. O mesmo foi definido como o desenvolvimento que atende as atuais necessidades sem comprometer a capacidade das futuras gerações terem suas próprias necessidades atendidas (BRUNDTLAND, 1987). Barbieri *et al.* (2010) consideram que o marco inicial da institucionalização do conceito de desenvolvimento sustentável se deu em 1992, com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento - CNUMAD.

Com o avanço da discussão os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram delineados durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, em 2015. Os mesmos vigoram desde 2016 e traçam metas para até 2030. Dentre os 17 ODS destaca-se o objetivo de assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, que visa, dentre outros, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos, reduzir desperdícios e geração de resíduos (UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY, 2015).

A sustentabilidade requer significativa mudança nos modos de produção, consumo e comportamento atuais da sociedade. De forma que é necessário o desenvolvimento de mecanismos onde conceitos possam ser transformados em ação para que haja a mudança de uma economia ineficiente em consumo de recursos para uma economia onde o consumo seja racionalizado (ZANIRATO; ROTONDARO, 2016) ou seja, de uma economia linear para uma Economia Circular.

Uma economia linear é definida como a conversão de recursos naturais em resíduos por meio da produção (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Para os mesmos autores a produção de resíduos ocasiona a deterioração do ambiente através da remoção do capital natural do meio ambiente e também da redução do valor do capital natural ocasionada pela poluição gerada pelo descarte de resíduos.

Assim, Murray, Skene e Haynes (2017, p. 377) propõem uma definição revisada da EC como modelo econômico onde “planejamento, recursos, compras, produção e reprocessamento são projetados e gerenciados, tanto como processo como em resultados, para maximizar o funcionamento do ecossistema e o bem-estar humano”.

A introdução do conceito de EC é atribuída a Pearce e Turner, e está intimamente ligado ao conceito de sustentabilidade (GEISSDOERFER *et al.*, 2017). Para Sauvé, Bernard e Sloan (2016, p. 52) a EC objetiva “otimizar o uso de recursos virgens e reduzir a poluição e o desperdício em cada etapa, na medida do possível e desejável”. Para Pomponi e Moncaster (2017) a principal inovação dentro da ideia de uma EC consiste em dissociar o esgotamento e o crescimento do consumo de recursos, assim, permitindo que haja desenvolvimento econômico e rentabilidade cada vez maiores sem que exista uma pressão crescente sobre o meio ambiente.

Neste sentido, a pesquisa proposta encontra justificativa no fato de no Brasil haverem poucos trabalhos que abordem o tema e de inexistir pesquisas que intencionem abordar o estado-da-arte das publicações sobre Economia Circular e sustentabilidade. Para tanto, uma pesquisa descritiva de natureza qualitativa foi empreendida. Através de estatística descritiva, análises de *outliers* e de redes o trabalho foi levado a efeito.

A bibliometria se apresenta como um procedimento relevante para a visualização de indicadores da publicação científica. A mesma é definida por Café e Bräscher (2008) como um conjunto de leis e princípios aplicados a métodos estatísticos e matemáticos que visam o mapeamento da produtividade científica de periódicos, autores e representação da informação.

1.1 Problema de Pesquisa e Objetivo

Assim, este trabalho norteia-se pela seguinte questão de pesquisa: Como caracteriza-se a produção científica internacional sobre Economia Circular relacionada à sustentabilidade? Desta forma, o objetivo é mapear a produção científica sobre Economia Circular e sustentabilidade, em periódicos disponibilizados na base *Web of Science* compreendendo todas as publicações até maio de 2018.

2 ECONOMIA CIRCULAR E SUSTENTABILIDADE

Para McDounough *et al.* (2003, p. 435), a sustentabilidade é vista como uma “estratégia de ‘fazer mais com menos’ ou ‘reduzir a pegada humana’ para minimizar os sintomas preocupantes do declínio ambiental”.

Devido à falta de planejamento enfrentam-se os problemas ambientais existentes e a escassez de recursos já é realidade em muitas regiões. Assim, foi constatada a necessidade de contemplar a Terra como um sistema econômico fechado: um sistema em que a economia e o meio ambiente não são considerados por inter-vínculos lineares, mas por uma relação circular (BOULDING, 1966 *apud* SU *et al.*, 2013).

Neste sentido, muitos autores, a exemplo de Su *et al.* (2013) e Andersen (2007), indicam que o conceito de Economia Circular (EC) foi levantado pela primeira vez por Pearce e Turner em 1990. Os precursores do tema apontaram que uma economia tradicional de capital aberto foi desenvolvida sem tendência interna de reciclagem, o que se refletiu no tratamento do meio ambiente como um reservatório de resíduos.

Segundo outros autores, o pioneiro da discussão do tema que viria a ser cunhado como EC é Kenneth E. Boulding em um estudo escrito em 1966 (GEISSDOERFER *et al.*, 2017; SU *et al.*, 2013). Em seu estudo esse autor asseverou que seria necessária a adoção de um vetor de retroalimentação, obedecendo a lógica recursos-produção-regeneração que passaria a organizar as atividades econômicas. O processo afetaria tanto a produção de bens de consumo com também o consumo dos bens produzidos.

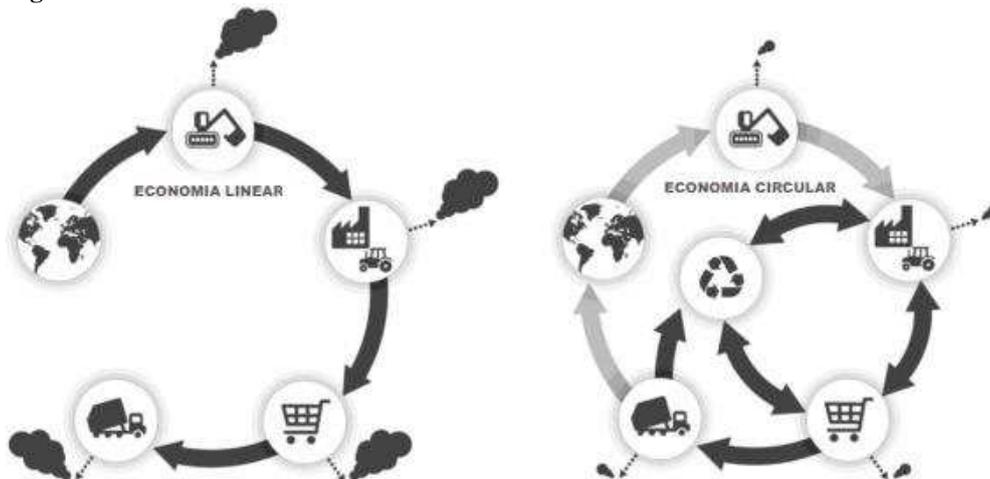
Entretanto, segundo Murray, Skene e Haynes (2017) outros autores reivindicam o crédito pela introdução da discussão que resultou na cunhagem do termo EC. Ainda, de acordo com esses autores, o termo EC vem sendo relacionado a uma série de significados e associações por diferentes autores, mas o que eles geralmente têm em comum é o conceito de sistema de ciclo fechado cíclico.

De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2013, p. 14), uma das organizações líderes globais em iniciativas relacionadas a EC, a mesma ainda é uma construção teórica, sendo que o termo “denota uma economia industrial que é restauradora ou regenerativa por intenção e por design”, e que vem ganhando força desde o final da década de 1970. McDonough *et al.* (2003) classificam a EC como um sistema que se alimenta de energia renovável e onde os materiais avançam em circuitos fechados, seguros e regenerativos.

Desta forma, outros pesquisadores vêm se juntando a esta discussão, onde cada um busca empregar a definição que mais se adequa ao seu campo de estudos. Murray, Skene e Haynes (2017, p. 377), percebendo este fato ofereceram uma definição revisada da EC onde a mesma é definida como sendo um modelo econômico onde “planejamento, recursos, compras, produção e reprocessamento são projetados e gerenciados, tanto como processo como em resultados, para maximizar o funcionamento do ecossistema e o bem-estar humano”.

A Figura 1 ilustra o contraste entre a economia linear e a EC. A economia linear é baseada em um processo simples e linear de extração, produção, consumo e descarte, com pouca ou nenhuma atenção à poluição gerada em cada etapa (SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016). Já uma EC apresenta baixo consumo de energia, baixa emissão de poluentes e alta eficiência, envolvendo aplicação de produção mais limpa nas empresas, desenvolvimento de parques eco-industriais e planejamento baseado em recursos para o desenvolvimento em indústrias, áreas urbanas e na agricultura (UNEP, 2006).

Figura 1 – Contrastando os conceitos de Economia Linear e Circular



Fonte: Adaptado de Sauvé, Bernard e Sloan (2016, p. 52).

Andersen (2007) afirma que a EC aborda as interligações das quatro funções econômicas do meio ambiente: ser um sistema fundamental de suporte à vida, proporcionar qualidade de vida, ser base para o fornecimento de recursos e receber os descartes de materiais provenientes das atividades econômicas. Já Geissdoerfer *et al.* (2017) afirmam que a literatura demonstra que o sistema priorizado na sustentabilidade é o TBL, já na EC o sistema econômico é percebido como mais relevante.

Para Sauvé, Bernard e Sloan (2016) o modelo de linear da economia prima os objetivos econômicos, e leva pouco em consideração as preocupações ecológicas e sociais. Entretanto, os resíduos gerados após o consumo afetam a humanidade através de consequências como poluição ou contaminação do meio ambiente ocasionada pelo despejo de resíduos em aterros sanitários. A dinâmica da economia linear coincide com o “sistema linear” de Stahel (1982). Para o autor, neste sistema os bens produzidos obedecem à lógica produção-consumo-descarte e o mesmo proporciona “deterioração ambiental embutida em ambas as extremidades” do sistema (STAHHEL, 1982, p. 73).

Neste sentido, as características regenerativas da Economia Circular (EC) possibilitam que a entrada de recursos e o desperdício sejam minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento de loops de material e energia (GEISSDOERFER *et al.*, 2017; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). Através de design duradouro, manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, remodelação e reciclagem é possível que haja uma redução na emissão e na fuga de energia do sistema, tornando-o mais eficiente. (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

A principal motivação para a sustentabilidade vem pela reflexão difusa e diversificada e pela observação de trajetórias adaptativas passadas. Já na EC o desperdício e o melhor uso de recursos, ao transitar de um modelo linear para o circular, apresenta-se como impulsores do seu desenvolvimento (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

Numa EC os problemas de desperdício e acúmulo de lixo podem ser minimizados através de reuso, condicionamento e reciclagem. Um comportamento de produção e consumo semelhante foi sugerido por Stahel (1982) ao tratar de "uma economia de *loop*", que permitiria que as indústrias lucrassem sem externalizar os custos e riscos associados aos resíduos.

Na lógica da EC, os produtos são projetados para facilitar a reutilização, desmontagem e remodelação, ou a reciclagem, fundamentando que o crescimento econômico se daria através da reutilização de grandes quantidades de material recuperado em vez da extração de novos recursos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). O que coincide com os achados de Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), que, ao analisarem 114 definições de EC, puderam concluir que a mesma é descrita mais frequentemente como uma combinação de atividades de redução, reutilização e reciclagem. Além disso, os autores concluíram que nos trabalhos analisados raramente se dá enfoque à necessidade de mudança sistêmica que a EC necessita.

Os benefícios ambientais potenciais da EC incluem a conservação de recursos naturais, redução do impacto ambiental proveniente do uso de fontes de energia eficientes, menor descarte de resíduos, redução do uso de materiais tóxicos, ciclo de vida prolongado e recuperação do ecossistema local. Já os benefícios sociais potenciais incluem a melhoria das relações sociais entre os setores industriais e as sociedades locais, mais oportunidades de emprego através de novos negócios de reciclagem, maior consciencialização ambiental e melhora nos níveis de saúde pública (GENG *et al.*, 2012).

Medidas que visam o aumento da eficiência dos recursos resultam em melhor desempenho corporativo e maior competitividade, assim é possível promover economias de dinheiro aos consumidores e aumentar sua satisfação (EKINS; HUGHES, 2017). Desta forma, o modelo proposto para EC aproxima um novo paradigma econômico e implica numa nova forma de fazer produtos desde o seu desenvolvimento, permitindo construir negócios que atendam ao crescimento econômico ao passo que consideram a sustentabilidade ambiental e a diminuição dos riscos inerentes à volatilidade e às incertezas dos preços das matérias primas e dos recursos energéticos (LETT, 2014) gerando benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Para Geissdoerfer *et al.* (2017), quem mais se beneficiaria com uma EC seriam os atores econômicos que implementam o sistema. Entretanto, segundo o autor, o meio ambiente também seria beneficiado através da redução da poluição e do menor esgotamento de recursos, e a sociedade auferiria benefícios advindos de melhorias ambientais e de certos complementos e premissas, como mais trabalho manual ou tributação mais justa. Sauvé, Bernard e Sloan (2016) concordam que o atual modelo de economia linear é caracterizado pela primazia que dá aos objetivos econômicos, com pouca consideração por preocupações ecológicas e sociais.

Os potenciais benefícios ambientais provindos de um sistema de indicadores de EC incluem a conservação de recursos naturais, redução do impacto ambiental proveniente do uso de fontes de energia eficientes, menor descarte de resíduos, redução no uso de materiais tóxicos, ciclo de vida prolongado e recuperação do ecossistema local. Já os benefícios sociais potenciais incluem melhora nas relações sociais entre os setores industriais e a sociedade, mais

oportunidades de emprego através de novos negócios de reciclagem, maior consciencialização ambiental e melhora nos níveis de saúde pública (GENG *et al.*, 2012).

Liu e Bai (2014) averiguaram que existem três categorias de barreira para a implementação de uma EC pelas organizações, a saber, barreiras estruturais, contextuais e culturais. A barreira que de maior destaque no estudo foi a incerteza quanto ao mercado. Os autores também inferiram que metade das barreiras identificadas têm uma estreita relação com a estrutura organizacional e ainda que não existem incentivos incorporados no sistema orçamentário que estimulem a inovação da EC.

3 MÉTODO

Uma pesquisa descritiva de natureza qualitativa foi empreendida para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados. Segundo Cervo, Bervian e Silva (2007), a pesquisa descritiva faz uso de observação, registro, análise e também correlaciona fatos sem manipulá-los. Assim, utilizou-se uma metodologia inventariante que buscou descrever as características, propriedades e relações inerentes à produção científica dedicada à Economia Circular relacionada à sustentabilidade.

Uma análise bibliométrica foi empregada a fim de mapear a produção científica, identificando suas tendências e, assim, colaborar na sistematização das pesquisas realizadas a respeito de determinado tema e sugerir problemas a serem investigados em futuras pesquisas (CHUEKE; AMATUCCI, 2015).

Desta feita, o estudo foi feito em duas etapas. Primeiramente, foi realizada uma busca sistemática e na segunda uma análise sistemática da literatura e a bibliometria.

Na primeira etapa, para a busca dos trabalhos foi escolhida a coleção principal da base de dados *Web of Science (WoS)*, pois a mesma possui mais de 9.000 periódicos indexados, sendo que estes são os mais citados em suas respectivas áreas e, além disso, trata-se de uma base multidisciplinar. Na mesma base foi realizado um levantamento do conteúdo do acervo compreendendo todas as publicações disponíveis nessa base eletrônica de dados até maio de 2018. O critério foi realizar a busca por tópico, pois neste caso serão contempladas todas as ocorrências dos termos pesquisados no títulos, resumos e palavras-chave, sendo os termos utilizados na busca: “*circular economy*” + “*sustainability*”, conforme Quadro 1.

Após esta busca inicial o material encontrado passou por um refinamento objetivando montar o *corpus* desta pesquisa considerando apenas os artigos disponíveis.

Quadro 1 – Sequência de pesquisa usada no banco de dados

Base de Dados	Sequência de pesquisa	Aplicação da sequência de pesquisa no banco de dados
<i>Web of Science</i> (coleção principal)	TÓPICO: ("circular economy" + sustainability) AND IDIOMAS: (Todos) AND DOCUMENT TYPES: (Artigos = 242) [excluindo-se os <i>proceedings papers</i>]	Tópico refere-se à pesquisa na <i>Web of Science</i> em títulos, resumos e palavras-chave. Todos os artigos e em qualquer idioma devem compor o resultado. Um total de 242 artigos localizados.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para proceder a identificação dos trabalhos de maior destaque considerou-se a quantidade de citações, conhecidos como *outliers*, para isso, recorreu-se ao auxílio do *software* Minitab. Além de identificar os *outliers* este trabalho apresenta um quadro resumo das principais características inerentes aos mesmos. Além disso, foi feito uso do *software* VOSviewer para a identificação das redes de coautorias e a frequência no uso de palavras-chave.

O VOSviewer é um *software* livre que se destina principalmente para a construção e visualização de mapas bibliométricos (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Além do mais, é útil para criar mapas com base em dados em rede e para visualizar e explorar esses mapas. Este

software pode ser utilizado para construir redes de pesquisadores, países, palavras-chave, publicações científicas, revistas científicas, além de outros. Desta forma, estas redes podem se conectar por co-autoria, co-ocorrência, citação, acoplamento bibliográfico ou *links* de co-citação (VAN ECK *et al.*, 2017).

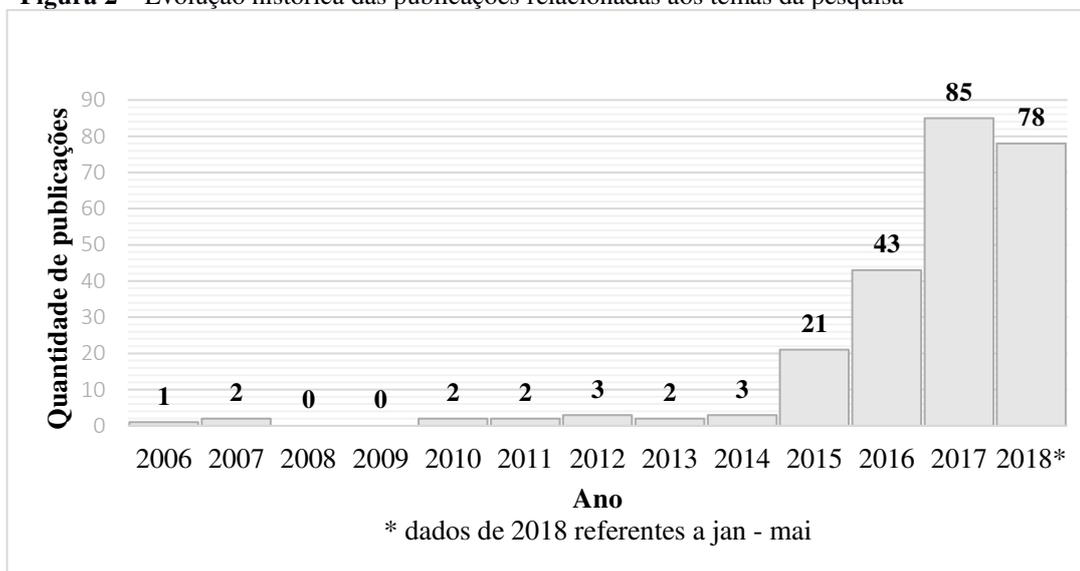
As análises estão organizadas da seguinte forma: produtividade de artigos ao longo dos anos; análise do primeiro trabalho da *WoS* tratando do tema EC; discussão dos principais trabalhos do período analisado; volume de citações recebidas; distribuição da produção científica por país; principais periódicos em que os artigos foram veiculados; organizações que mais publicam artigos relacionados à EC; *ranking* de autores mais produtivos; a colaboração visualizada por meio de coautoria de artigos; análise sistemática dos trabalhos mais citados; análise geral das palavras-chave utilizadas e, por fim, a exposição de quais são as principais áreas onde os trabalhos vêm sendo desenvolvidos.

4 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa buscam descrever a evolução da produção científica a respeito da temática da Economia Circular (EC) quando apresentada relacionada à sustentabilidade. Encontrou-se um total de 242 publicações relevantes para este trabalho, onde todos se tratam de artigos.

Quanto à produtividade de artigos, é possível perceber que, de acordo com as publicações disponíveis na *WoS*, o termo “Economia Circular” tem a origem de sua utilização bastante recente, sendo que o primeiro trabalho foi publicado em 2006, mas que nos últimos anos vem recebendo cada vez mais atenção dos pesquisadores, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Evolução histórica das publicações relacionadas aos temas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores.

Até 2014 o tema não vinha recebendo muita atenção dos pesquisadores, já que entre os anos de 2006 e 2014 apenas 15 artigos foram publicados, e ainda em 2008 e 2009 nenhuma publicação tratou do tema abordado neste trabalho. No entanto, a partir de 2015 o volume de publicações começou a crescer consideravelmente.

Em 2015, ao todo, 21 estudos abordaram a EC. Dentre estes, 10 foram produzidos na China. Isto pode ser consequência de que em 2015 encerrou-se o plano quinquenal referente a implementação e o desenvolvimento da EC 2011-2015 e o governo chinês se esforça para

impulsionar esse modelo econômico, tratando esta discussão como um compromisso nacional, daí atraindo a atenção de muitos pesquisadores (SU *et al.*, 2013).

A partir de 2015 o volume de produção vem quase que duplicando a cada ano, com o registro de 45 publicações em 2016 e 85 em 2017. Ressalta-se que a produção referente a 2018 compreende o período de janeiro a maio, onde há o registro de 78 publicações relacionadas aos temas deste trabalho, comportando-se segundo a tendência que se iniciou em 2015.

O primeiro trabalho foi publicado no periódico *Journal of Cleaner Production* por Gao, Hou, Zhang, Zhang e Gong em 2006, e abordou fundamentalmente o projeto Hai Hua Circular Economy Pilot Zone (HHCEPZ) implementado na província de Shandong, na China (GENG *et al.*, 2012). Este projeto objetivava implementar a EC em uma zona de desenvolvimento com base na indústria química de salmoura subterrânea. Os pesquisadores da Universidade de Shandong forneciam apoio teórico e tecnológico ao projeto, e no artigo os mesmos descrevem as características do quadro educacional e as técnicas de educação aplicadas na implantação do programa e avaliaram o sucesso do mesmo (GAO *et al.*, 2006).

Os trabalhos produzidos em 2016 concentravam-se principalmente nas áreas de Ecologia e Ciências Ambientais, Engenharia e outros tópicos relacionados a Ciência e Tecnologia. O trabalho mais relevante deste período foi escrito por GHISELLINI, CIALANI e ULGIATI (2016). Os autores forneceram revisão da literatura das últimas duas décadas, no intuito de apreender origens, princípios básicos, vantagens e desvantagens, modelagem e implementação da EC nos diferentes níveis da EC em todo o mundo. Os resultados evidenciam que as origens da EC estão enraizadas principalmente na economia ecológica e ambiental e na ecologia industrial. Segundo os autores, na China a EC é promovida como um objetivo político nacional, enquanto em outras regiões e países, como União Europeia, Japão e EUA, é uma ferramenta para projetar políticas de gestão ambiental e de resíduos. O trabalho também revelou que a implementação da EC no mundo ainda parece estar nos estágios iniciais, principalmente focada em reciclar em vez de reutilizar.

Os artigos mais citados produzidos em 2017 tratam sobre química verde, gestão sustentável da cadeia de suprimentos, descarte, além de trabalhos que visam uma exploração do conceito de EC. Já em 2018, os trabalhos de maior destaque tratam do conceito e das limitações da EC, da química verde, do uso de recursos minerais e do uso de impressão 3D.

Na Tabela 1 é exibida a distribuição dos artigos ao longo dos anos e o volume de citação dos mesmos.

Tabela 1 – Volume de citações de artigos em função do ano de publicação

Volume de Citações	Ano													Total de Artigos	Soma total de citações	
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018			
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	28	61	93	0
1 a 9	-	-	-	-	-	-	-	1	2	10	21	46	16	96	299	
10 a 19	1	-	-	-	-	1	1	1	1	7	13	8	1	34	409	
20 a 29	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	4	-	-	8	195	
30 a 39	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	2	1	-	5	147	
40 a 100	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2	-	5	338	
> 100	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	116	

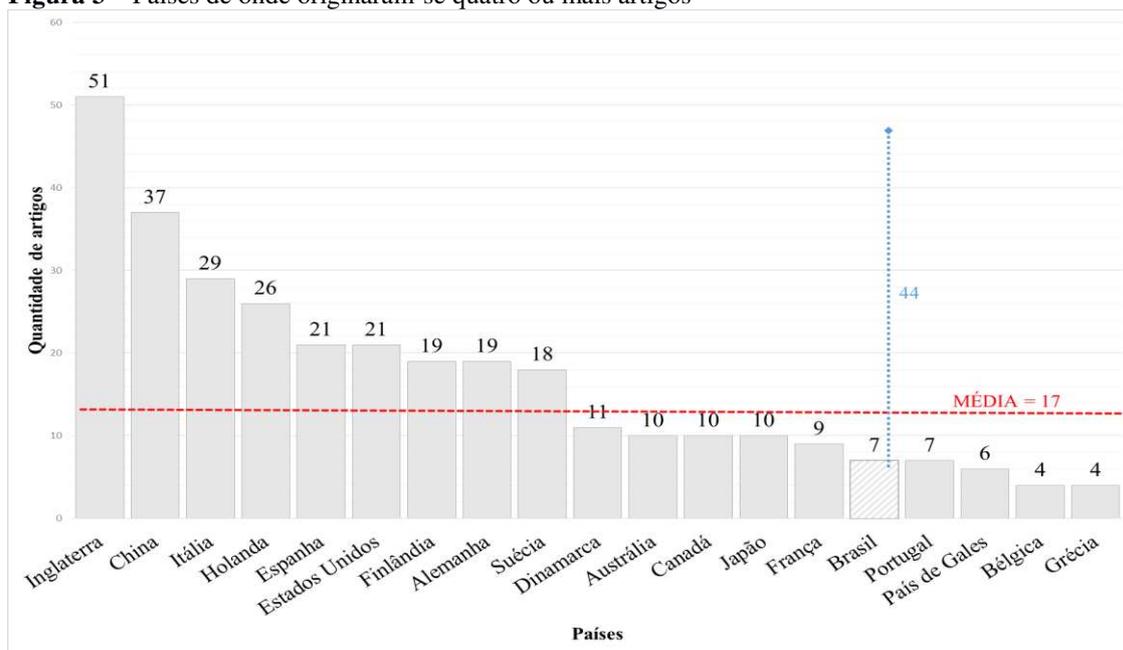
Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da Tabela 1 é possível perceber que a maior parte dos artigos receberam poucas citações até então, isto influenciado pelo fato de a maior parte das obras datarem de 2015 em diante. Também se percebe que os dez trabalhos mais antigos são razoavelmente citados, dentre os tais seis tem no mínimo 30 citações. Ademais, só há um trabalho com mais de cem citações.

Tratando-se dos países onde se estuda a EC, há registro de 47 onde pelo menos um artigo foi produzido. No entanto, na Figura 3 estão representados apenas as nações de onde partiram quatro ou mais publicações.

De acordo com a Figura 3, destacam-se quatro países de onde partiram quase 60% do total de publicações: Inglaterra, China, Itália e Holanda, sendo que os dois primeiros são responsáveis por mais de 35% das obras aqui mapeadas. No Brasil foram feitos apenas 7 trabalhos, ou seja, menos de 3% das obras disponibilizadas. Em média, os países considerados nesta análise produziram 17 artigos no período considerado. Da Inglaterra, que é o país com maior volume de produção partiram 51 publicações, 44 a mais que o Brasil.

Figura 3 – Países de onde originaram-se quatro ou mais artigos



Fonte: Elaborado pelos autores.

Há um total de 103 fontes diferentes para os trabalhos disponibilizados pela WoS. A Tabela 2 apresenta os periódicos mais relevantes dentre os tais, a saber, os que apresentaram no mínimo cinco publicações no período analisado.

Tabela 2 – Periódicos de maior produtividade

Periódico	Quantidade de artigos	Fator de impacto (JCR)
Journal of Cleaner Production	65	5.715
Sustainability	20	1.789
Resources, Conservation and Recycling	13	3.313
Production Planning Control	6	2.369
Journal of Industrial Ecology	5	4.123
Science of the Total Environment	5	4.9

Fonte: Elaborado pelos autores.

O periódico que concentra o maior número de publicações sobre EC é o *Journal of Cleaner Production*. Este periódico possui um elevado fator de impacto indexado pelo *Journal Citation Reports - JCR*. O JCR é a principal métrica utilizada para comparar periódicos de uma mesma área nas revistas que compõem a coleção da WOS. Sua mensuração é feita através da contabilização das citações recebidas pelos artigos publicados. Isto significa dizer que os periódicos de mais alto fator de impacto são percebidos entre os pesquisadores como os que publicam os trabalhos mais relevantes (PINTO; ANDRADE, 1999).

Das 401 organizações envolvidas com as publicações aqui estudadas, a Tabela 3 destaca as 15 mais produtivas. É possível perceber que a *Delft University of Technology*, na Holanda é um centro de estudos da EC no país. Já os chineses contam com três organizações que se dedicam à temática e na Inglaterra a produção é pulverizada em quatro instituições principais.

Tabela 3 – Organizações mais profícuas

Instituição	Quantidade de trabalhos	País
Delft University of Technology	12	Holanda
Chinese Academy of Sciences	9	China
Shanghai Jiao Tong University	9	China
Helmholtz Association	8	Alemanha
Aalto University	7	Finlândia
National Institute for Environmental Studies	7	Japão
University of Cambridge	7	Inglaterra
Cranfield University	6	Inglaterra
Finnish Environment Institute	6	Finlândia
Shenyang Institute of Applied Ecology CAS	6	China
Universidad de Navarra	6	Espanha
Linköping University	5	Suécia
Tuscia University	5	Itália
University of Leeds	5	Inglaterra
University of Surrey	5	Inglaterra

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 2 apresenta os 9 autores que os autores que produziram quatro ou mais artigos e participaram da elaboração de 23 dos 242 trabalhos, o que corresponde a 9% destes. Dentre os 786 autores envolvidos em pesquisas relacionadas a EC e sustentabilidade publicadas, o destaque é o pesquisador chinês Yong Geng, que participou da construção de 11 artigos. Correlacionando com a análise das instituições mais profícuas, Yong Geng participou da construção de todos os artigos originados na Shanghai Jiao Tong University. Vale ressaltar que, como se pode verificar no Quadro 2, Joseph Sarkis tem desempenho aproximado ao de Yong Geng quanto ao total de citações recebidas, embora não tenha produzido tantos trabalhos. Isto se deve ao fato de os mesmos serem coautores nos trabalhos de maior destaque de ambos.

Quadro 2 – Autores mais profícuos

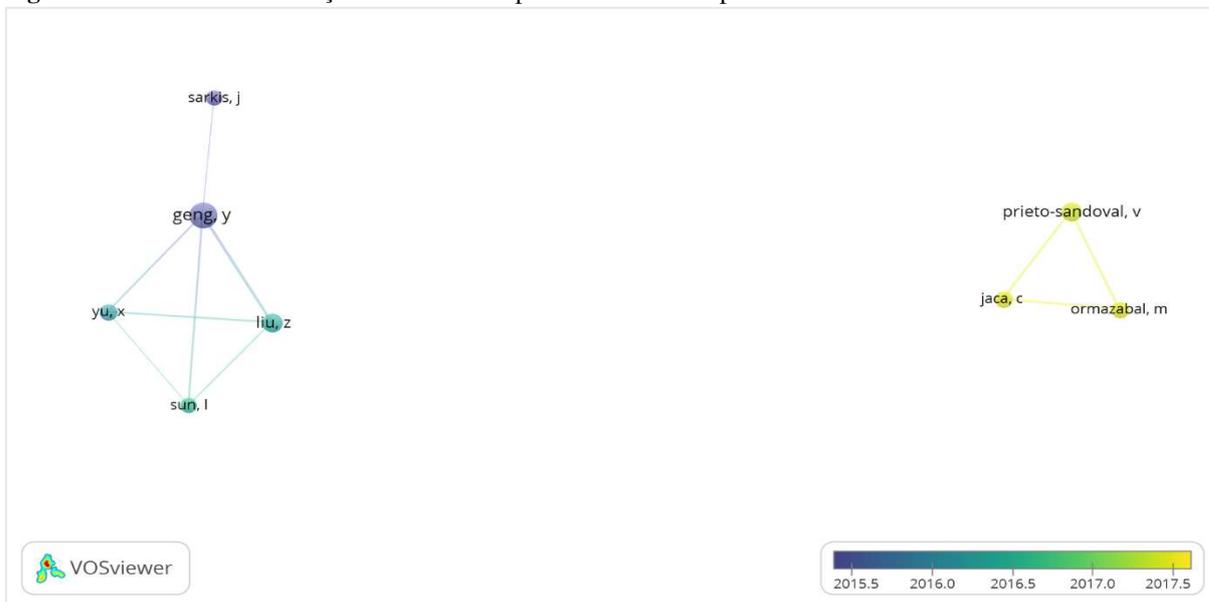
Autor	Total de artigos	Total de citações	Instituição	País
Yong Geng	11	242	Shanghai Jiao Tong University	China
Zhe Liu	6	39	Dalhousie University	Canadá
Vanessa Prieto-Sandoval	6	5	Universidad de Navarra	Espanha
Marta Ormazabal	5	5	Universidad de Navarra	Espanha
Carmen Jaca	5	5	Universidad de Navarra	Espanha
Joseph Sarkis	4	222	Chinese Academy of Science	China
Valentin Molina-Moreno	4	4	Universidad de Granada	Espanha
Lu Sun	4	24	University of Tokyo	Japão
Xiaoman Yu	4	25	University of the Chinese Academy of Sciences	China

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 4 expõe as redes de coautoria identificadas. Para esta análise foram considerados apenas os autores com quatro ou mais artigos publicados. Dentre todos eles, o único que não participa de redes de colaboração com outros autores com alto volume de

produção é o autor Valentin Molina-Moreno, por isso não aparece nesta análise. A despeito deste fato, o autor mantém colaboração com outros oito autores distintos.

Figura 4 – Redes de colaboração estabelecidas pelos autores mais profícuos



Fonte: Elaborado pelos autores.

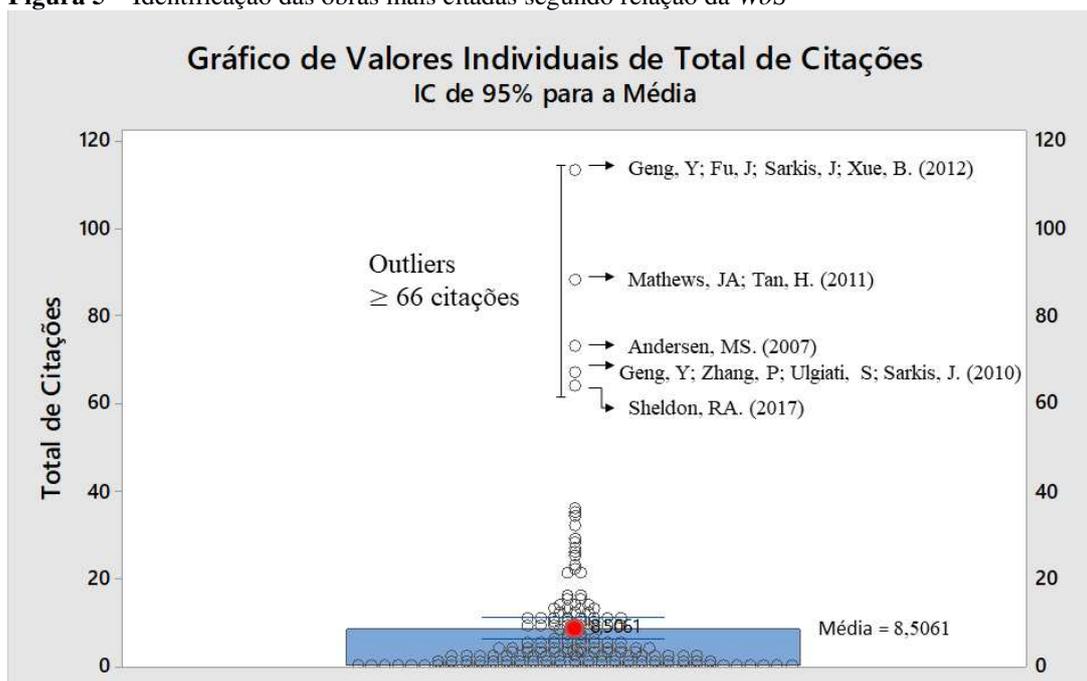
Na Figura 4, o tamanho dos círculos que representam cada autor é determinado pela quantidade de artigos publicados pelos autores. Já a formação dos *clusters* obedecem à regra da colaboração entre os mesmos. Segundo Van Eck et al. (2010) quanto à análise de mapas e *clusters* no VOSviewer, os círculos auxiliam na localização dos itens, os itens agrupam-se em *clusters*, as cores dos clusters identificam grupos de itens e a distância entre os itens no mapa se dá em função da similaridade ou relacionamento entre os mesmos.

A partir da Figura 4 também é possível identificar que existem dois *clusters* de colaboração. O primeiro *cluster* é formado pelos autores Sarkis, J.; Geng, Y.; Liu, Z.; Sun, L. e Yu, XM. Os autores deste *cluster* mantêm rede de colaboração entre si, exceto Sarkis, que se relaciona apenas com Geng. Os dois desenvolveram dois artigos em parceria, um em 2010 e outro em 2012. Estes são os primeiros trabalhos de Geng relacionado a EC disponibilizado na coleção da WoS, e inclui seu trabalho de maior destaque. Em seus onze trabalhos Yong Geng estabelece parceria com outros 41 autores, enquanto Joseph Sarkis mantém rede de colaboração com apenas nove pesquisadores. Zhe Liu e Lu Sun colaboram com vinte e quatro outros autores e Xiaoman Yu mantém rede de colaboração com 14 pesquisadores.

No segundo *cluster*, os autores mantêm uma rede de colaboração mais limitada. A autora Vanessa Prieto-Sandoval tem seis artigos publicados, dos quais cinco foram feitos em colaboração com as autoras Marta Ormazabal e Carmem Jaca.

Com relação ao total de citações contabilizado pela WoS, a Figura 5 expõe as obras que foram mais referenciadas pelos pares. Como pode ser visualizado, cinco artigos comportam-se de forma destacada dos demais ao receberem uma quantidade de citações muito superior. O trabalho escrito por Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., e Xue, B. em 2012 é o mais citado até então, tendo aparecido nas referências de 116 produções diferentes.

Figura 5 – Identificação das obras mais citadas segundo relação da WoS



Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando a destacada atenção que as obras apresentadas como *outliers* na Figura 6 têm recebido pelos pares, o Quadro 3 busca sumarizar as principais características destes cinco trabalhos.

Quadro 3 – Principais características dos trabalhos mais citados

Geng et al (2012) 116 citações	TÍTULO: Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis OBJETIVOS: apresentar o sistema nacional de indicadores de sustentabilidade implementado pelo governo chinês e fornecer uma análise crítica desse sistema desenvolvido para países em desenvolvimento. MÉTODO: Estudo de caso. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS: 1) investigar como os indicadores apresentados podem ser integrados às metodologias de tomada de decisão e definição de políticas para uma implementação efetiva; 2) investigar em diferentes níveis difusão, utilidade e evolução dos indicadores; 3) analisar relacionamentos entre os níveis de tomada de decisão.
Mathews e Tan (2011) 89 citações	TÍTULO: Progress Toward a Circular Economy in China The Drivers (and Inhibitors) of Eco-industrial Initiative OBJETIVOS: demonstrar alguns temas comuns em iniciativas ecoindustriais tomadas na China, no ocidente e em alguns países do leste da Ásia, discutir impulsionadores e inibidores dessas iniciativas, definir uma estrutura evolucionária e introduzir uma noção de ecoeficiência de Pareto para avaliá-las. MÉTODO: Estudo de casos múltiplos. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS: Não oferece.
Andersen (2007) 75 citações	TÍTULO: An introductory note on the environmental economics of the circular economy. OBJETIVO: introduzir princípios fundamentais e abordagens em economia ambiental com foco no alcance de uma ciência da sustentabilidade integrada. MÉTODO: análise de conceitos e sistematização de ideias. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS: Não oferece.
Geng et al (2010) 68 citações	TÍTULO: Emergy analysis of an industrial park: The case of Dalian, China OBJETIVO: apresentar novo método baseado em análise e síntese emergética. MÉTODO: Estudo de caso. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS: 1) aplicação dos modelos de simulação oferecidos no artigo em regiões menores e utilização de abordagem a nível de parques

As palavras-chave agrupadas no segundo *cluster* tendem a discutir o desperdício e maneiras de evitá-lo e o conceito de *cradle-to-cradle* (do berço ao berço), que sugere um *framework* que orienta a projeção dos bens conscientemente pensando no seu descarte seguro à natureza ou a sua reutilização como recurso útil para a produção de novos bens (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Já no *cluster* três costuma-se discutir deficiência de recursos, e barreiras e desafios que podem aparecer no caminho das iniciativas que buscam o zero desperdício em construções através do design e da eco-inovação, como os modelos de negócio baseados nos princípios da EC.

O *cluster* quatro traz o agrupamento de trabalhos que abordam inovação nos modelos de negócios, como sistema de serviço de produtos, modelos de negócios circulares, remanufatura e internet das coisas.

No quinto *cluster* o foco dos trabalhos volta-se para desenvolvimento sustentável, eco-design, reuso e produção enxuta. No sexto *cluster* os artigos abordam a sustentabilidade, o crescimento econômico, eficiência, reciclagem e reuso de materiais. O sétimo *cluster* traz discussões sobre prevenção e gestão do desperdício, recuperação de recursos e avaliação da sustentabilidade são os temas principais dos artigos associados nesta categoria, como processos que direcionem a tomada de decisão para a sustentabilidade. O oitavo *cluster* trabalha os temas eficiência de recursos e uso indicadores na cadeia de suprimentos e, por fim, o nono se refere aos trabalhos que tratam de métodos para uso mais eficiente dos recursos biológicos.

No Quadro 4 são apresentadas todas as palavras-chave que apareceram mais de três vezes agrupadas em *clusters* identificados pelo *software* VosViewer e a quantidade de ocorrências de cada uma nos trabalhos publicados na *WoS* é evidenciada.

Quadro 4 – Palavras-chave mais utilizadas

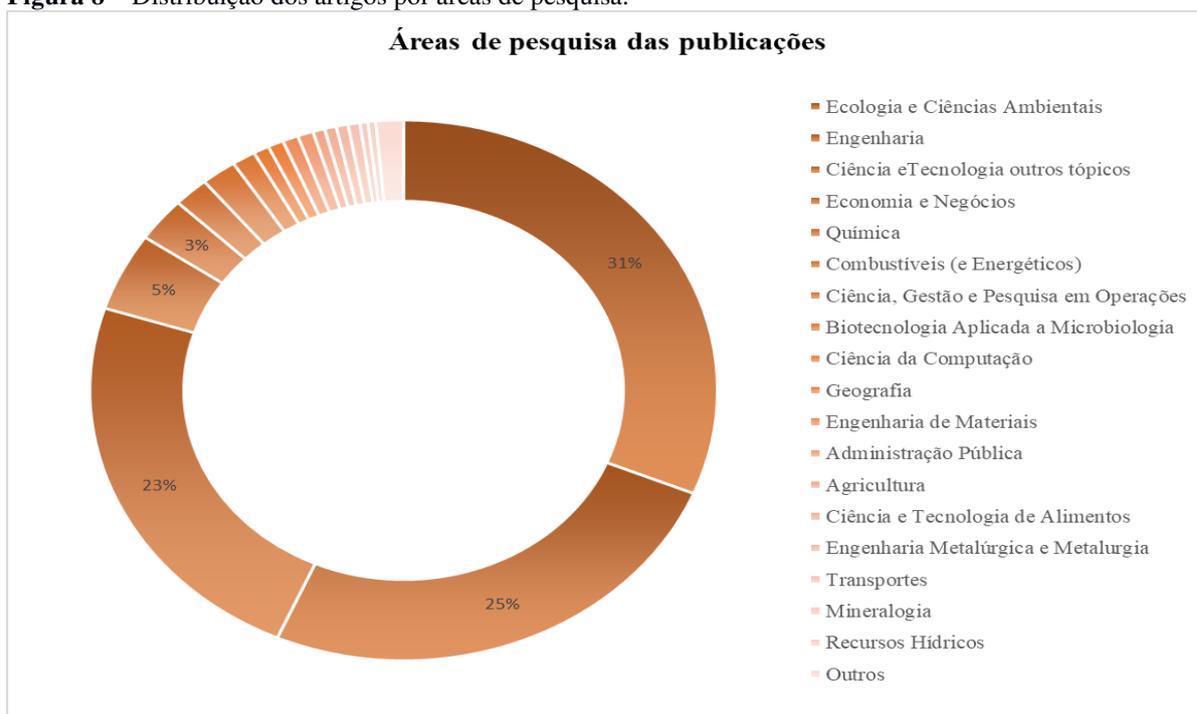
<i>Cluster</i>	Palavra-chave (ocorrências)
1	China (14), Eco-efficiency (7), Eco-industrial development (3), Eco-industrial parks (3), Emergy (5), Emergy analysis (4), Indicator system (3), Industrial ecology (10), Industrial park (4), Industrial symbiosis (12).
2	Cradle to cradle (4), Energy (3), Life cycle assessment (20), Packaging (3), Recycling (13), Waste (4).
3	Barriers (4), Challenges (3), Construction (3), Design (3), Eco-innovation (3), Survey (4),
4	Circular economy (137), Cleaner production (4), Eco-design (3), Reuse (5), Sustainable development (12).
5	Business model innovation (3), Circular business model (8), Internet of things (3), Product-service systems (3), Remanufacturing (6).
6	Economic growth (3), Efficiency (3), Recycling & reuse of materials (4), Sustainability (75).
7	Resource recovery (3), Sustainability assessment (5), Waste management (5), Waste prevention (3).
8	Indicator (4), Resource efficiency (7), Supply chain (5).
9	Bioeconomy (3)

Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível perceber que as palavras-chave que são utilizadas mais de dez vezes são: *life cycle assessment*, *China*, *recycling*, *industrial symbiosis*, *sustainable development* e *industrial ecology*. Aqui sem falar da quantidade de vezes que são utilizadas as palavras-chave *circular economy* ou *sustainability*, já que são os termos de busca desta pesquisa e por isto, necessariamente, há um número maior de ocorrências.

A concentração de trabalhos segundo as áreas de pesquisa é apresentada na Figura 8 a seguir.

Figura 8 – Distribuição dos artigos por áreas de pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a Figura 8 é possível observar que quase 80% dos trabalhos concentram-se na discussão de temas relacionados a Ecologia e Ciências Ambientais, Engenharia e tópicos diversos relacionados a Ciência e Tecnologia. Além disso, percebe-se que um pequeno percentual de trabalhos tem dado ênfase a assuntos na área de Economia e Negócios.

5 CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi mapear a produção científica sobre Economia Circular e sustentabilidade em periódicos disponibilizados na base *Web of Science (WoS)* compreendendo todas as publicações até maio de 2018. Esta pesquisa auxiliou a responder à questão: *Como caracteriza-se a produção científica sobre Economia Circular relacionada à sustentabilidade?*

No tocante ao volume de produção ao longo dos anos é visível que 2015 foi o início de um ciclo de crescimento em que este volume se comporta como uma progressão aritmética. Em 2015 foram publicados mais artigos do que nos nove anos anteriores somados e, a partir de então, a produção vem dobrando a cada ano. Esta expectativa permanece para o ano de 2018, onde este estudo demonstra que a quantidade de publicações quase se igualou a do ano anterior, contados apenas os primeiros cinco meses do ano.

Inglaterra e China são os países de onde a maior quantidade de artigos provém. A desenvoltura brasileira no tocante ao tema ainda é tímida, trazendo à luz a necessidade de produção de mais trabalhos, devido à constatada importância deste tema. Ademais, na Europa se concentra a maior quantidade dos núcleos de pesquisa mais produtores em EC. Sendo a holandesa *Delft University of Technology* destaque pela maior quantidade de trabalhos.

O pesquisador Young Geng, além de ser o mais profícuo, ainda participou da elaboração do trabalho mais referenciado até então, comportando-se como referência no assunto ao ter recebido 116 citações. Dentre os *outliers* encontrados, os trabalhos de Geng são os únicos que sugerem investigações futuras. As mesmas consistem em evoluções das pesquisas já desenvolvidas pelo autor e sua rede de colaboração, sugerindo investigações em relação a melhorias no sistema de indicadores desenvolvido por Geng *et al.* (2012) para apoio na tomada

de decisão e também a aplicação e desenvolvimento de novos sistemas de apoio à decisão em novos contextos organizacionais.

Dentre os periódicos que publicaram sobre os temas objeto desta pesquisa no período analisado o que concentra o maior volume de publicações é o *Journal of Cleaner Production*, reunindo mais de 26% dos trabalhos produzidos. A maior parte dos trabalhos centra-se na discussão de temas relacionados a Ecologia e Ciências Ambientais, Engenharia e tópicos diversos relacionados a Ciência e Tecnologia. Nota-se que é pequeno o percentual de trabalhos que enfatizam a área de Economia e Negócios.

De acordo com a análise das palavras-chave foi possível perceber que a maior parte dos estudos sobre EC e sustentabilidade abordam a avaliação do ciclo de vida dos produtos, a reciclagem, a simbiose industrial e a ecologia industrial, o desenvolvimento sustentável e que uma grande parte das pesquisas é desenvolvida no contexto chinês.

Um fator limitador para este trabalho é que a busca de artigos para compor esta análise foi realizada apenas na *Web of Science*. Outras bases poderiam ser utilizadas para um resultado mais completo. Além disso, futuramente seria valioso o desenvolvimento de mais trabalhos voltados para as áreas de economia e negócios, bem como comportamento do consumidor, já que é através do desenvolvimento de novos negócios e da adesão dos consumidores que a EC poderá efetivamente se estabelecer e tornar-se o modelo econômico predominante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, M. S. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability Science**, v. 2, n. 1, p. 133–140, 2007.
- BARBIERI, J. C. *et al.* Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. **Revista de Administração de Empresas**, v. 50, n. 2, p. 146–154, 2010.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13–14, p. 1337–1348, set. 2007.
- BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Report of the World Commission on environment and development: "our common future."** United Nations, 1987.
- CAFÉ, L.; BRÄSCHER, M. Organização da informação e bibliometria. **Enc. Bibli: R. Eletr. Bibliotecon**. Ci. Inf., Florianópolis, n. esp., 2008.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo, SP: Prentice Hall, 2007. 162 p.
- CHUEKE, G. V.; AMATUCCI, M. O que é bibliometria? Uma introdução ao Fórum. **Internext: Revista Eletrônica de Negócios Internacionais da ESPM.**, v.10, n. 2, p. 1–5, 2015.
- EKINS, P.; HUGHES, N. **Resource Efficiency: Potential and Economic Implications**. [s.n.] 2017.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). **Towards the Circular Economy**, 2013.
- GAO, C. *et al.* Education for regional sustainable development: experiences from the education framework of HHCEPZ project. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 9–11, 2006, p. 994-1002, 2006.
- GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.
- GEISSDOERFER, M. *et al.* The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757–768, 2017.
- GENG, Y. *et al.* Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 216–224, 2012.

- GENG, Y. *et al.* Measuring China's Circular Economy. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1526-1527, 2013.
- IPCC. Summary for Policymakers. 2013. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1–30.
- KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, n. April, p. 221–232, dez. 2017.
- LETT, L. A. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. **Revista argentina de microbiología**, v. 46, n. 1, p. 1-2, mar. 2014.
- LIU, Y.; BAI, Y. An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 145–152, 2014.
- MCDOUNOUGH, W. *et al.* JB. Applying the Principles of Green Engineering to Cradle-to-Cradle Design. **Environmental Science Technology**. v. 37, n. 23: p. 434-441, 2003.
- MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369–380, 2017.
- OLIVEIRA FILHO, J. E. Gestão ambiental e sustentabilidade: um novo paradigma econômico para as organizações modernas. **Rev. Teor. Pol. soc. Ci.**, Salvador, v.1, n. 1, 2004.
- PINTO, A. C.; ANDRADE, J. B. Fator de impacto de revistas científicas: qual o significado deste parâmetro?. **Quím. Nova**, v. 22, n. 3, p. 448-453, 1999.
- POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 710-718, fev. 2017.
- SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48–56, jan. 2016.
- STAHEL, Walter R. The product life factor. An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector (Series: 1982 Mitchell Prize Papers), NARC, 1982.
- SU, B. *et al.* A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215–227, 2013.
- SUBRAMANYAM, K. Bibliometric studies of research collaboration: A review. **Journal of Information Science**, v. 6, n. 1, p. 33–38, 1983..
- UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Circular Economy: An alternative model for economic development**. 2006.
- UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY (UNGA). Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. **In: A/RES/70/1**, p. 35, 2015.
- VAN ECK, N. J. *et al.* A comparison of two techniques for bibliometric mapping: Multidimensional Scaling and VOS. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 61, n. 12, p. 2405–2416, 2010.
- VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.
- _____. **VOSviewer Manual**, 2017.
- ZANIRATO, S. H.; ROTONDARO, T. Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 77–92, dez. 2016.