UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GUILHERME AUGUSTO ROIZ

Economia Circular e Sustentabilidade: proposta de um Índice Composto sob perspectiva macro.

São Carlos – SP

2022

GUILHERME AUGUSTO ROIZ

Economia Circular e Sustentabilidade: proposta de um Índice Composto sob perspectiva macro.

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Processos e Gestão de Operações.

Orientadora: Prof.ª. Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto

São Carlos – SP

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Roiz, Guilherme Augusto
R741e Economia Circular e Sustentabilidade: proposta de um Índice Composto sob perspectiva macro. / Guilherme Augusto Roiz; orientadora Daisy Aparecida Nascimento Rebelatto. São Carlos, 2022.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2022.

1. Economia Circular. 2. Desenvolvimento Sustentável. 3. DEA-BoD. 4. Indicadores Compostos. 5. União Europeia. I. Título.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **GUILHERME AUGUSTO ROIZ.**

Título da tese: "Economia circular e sustentabilidade: proposta de um índice composto sob perspectiva macro".

Data da defesa: 18/11/2022

Comissão Julgadora	Resultado
Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto** (Orientadora) (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	Aprovado
Profa. Dra. **Janaina Mascarenhas Hornos da Costa** (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	Aprovado
Prof. Dr. **Enzo Barberio Mariano** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Bauru)	Aprovado
Prof. Dr. **Herick Fernando Moralles** (Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)	Aprovado
Profa. Dra. **Ana Elisa Périco** (Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Araraquara)	Aprovado

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:

Profa. Dra. **Janaina Mascarenhas Hornos da Costa**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida que Ele me concedeu.

Agradeço aos meus pais por todo o esforço investido na minha educação.

Agradeço à minha esposa, Roberta, que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico.

Sou grato pela confiança depositada em mim pela minha professora Daisy Ap. Nascimento Rebelatto, orientadora do meu trabalho. Obrigado por me manter motivado durante todo o processo.

Agradeço a todos os amigos que de alguma forma contribuíram para que todo esse processo fosse bem sucedido: Herick Fernando Moralles, Karoline Arguelho, Naja Brandão Santana, Enzo Barbério Mariano, Diogo Ferraz, Ícaro Guilherme Felix da Cunha, Etienne Cardoso Adbala, Juliana Ng e à professora Janaína Mascarenhas que contribuiu de forma decisiva com sua participação na banca de qualificação deste trabalho para que os objetivos fossem alcançados.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Por último, quero agradecer também à Universidade de São Paulo e todo o seu corpo docente.

“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor”.

Paulo Freire

RESUMO

ROIZ, G.A. **Economia Circular e Sustentabilidade: proposta de um Índice Composto sob perspectiva macro.** São Carlos, 2022. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos-SP, Universidade de São Paulo.

O anseio por um crescimento econômico incessante e rápido, sob o custo do uso ineficiente de recursos e degradação ambiental resultou em consequências imensas que excedem em muito as capacidades planetárias de se regenerar em ritmo tão acelerado. Está claro que uma transição para sociedades sustentáveis não pode ocorrer com o atual modelo econômico linear e que a transição para a Economia Circular (EC) não é mais uma escolha, mas uma necessidade. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo a avaliação da relação entre Economia Circular e Sustentabilidade e a partir disso desenvolver um Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade. Para tanto, o trabalho utilizou modelos econométricos com o intuito de verificar e medir a relação entre os dois temas, e ao final a aplicou o método de Análise Envoltória de Dados – BoD – *benefit of the doubt* para a elaboração do indicador composto para um conjunto de 22 países da União Europeia, no período compreendido entre 2011 e 2018. Os principais resultados obtidos foram a comprovação do impacto positivo de práticas de Economia Circular em indicadores de Desenvolvimento Sustentável, principalmente de investimentos relacionados à EC. A criação do Indicador Composto retornou um *ranking* com Eslovênia, Letônia, Finlândia, Suécia, Áustria e Alemanha como primeiros colocados, e além disso verificou-se a importância de se considerar indicadores relacionados ao Desenvolvimento Sustentável em conjunto com indicadores de EC para avaliar progressos rumo à circularidade e sustentabilidade.

Palavras-chave: Economia Circular, Desenvolvimento Sustentável, DEA-BoD, Indicadores Compostos. União Europeia.

ABSTRACT

ROIZ, G.A. **Circular Economy and Sustainability: proposal for a Composite Index from a macro perspective.** São Carlos, 2022. Thesis (Ph.D.) – School of Engineering of São Carlos-SP, University of São Paulo.

The yearning for incessant and rapid economic growth, under the cost of inefficient use of resources and environmental degradation, has resulted in immense consequences that far exceed the planetary capacities to regenerate at such an accelerated pace. It is clear that a transition to sustainable societies cannot take place with the current linear economic model and the transition to the Circular Economy (CE) is no longer a choice but a necessity. Thus, the present work aimed to evaluate the relationship between Circular Economy and Sustainability and to develop a Composite Indicator of Circular Economy and Sustainability. For that, the work used econometric models in order to verify and measure the relationship between the two themes, and at the end it applied the method of Data Envelopment Analysis - BoD - Benefit of the Doubt for the elaboration of the composite indicator for a set of data from 22 European Union countries, in the period between 2011 and 2018. The main results obtained were proof of the positive impact of Circular Economy practices on Sustainable Development indicators, mainly investments related to CE. The creation of the Composite Indicator returned a ranking with Slovenia, Latvia, Finland, Sweden, Austria and Germany as the first places, and in addition, it was verified the importance of considering indicators related to Sustainable Development together with CE indicators to assess progress towards to circularity and sustainability.

Palavras-chave: Circular Economy, Sustainable Development, DEA-BoD, Composite Index, European Union.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha do tempo da União Europeia 26
Figura 2: Elaboração de um Indicador Composto 32
Figura 3: Transição da Economia Linear para a Economia Circular 36
Figura 4: *Framework* para a Economia Circular 39
Figura 5: Ciclos Técnicos e Biológicos 41
Figura 6: *Stakeholders* da Economia Circular e suas necessidades.....46
Figura 7: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....49
Figura 8: Abordagem interligada dos Objetivos de Sustentabilidade 51
Figura 9: Passos de procedimentos.....57
Figura 10: Curva de Eficiência.....66
Figura 11: Impactos das práticas Circulares nos ODS 81
Figura 12 – Adaptação da Figura de Rockström e Sukhdev para a amostra 84
Figura 13: Dimensões do Indicador Composto 85
Figura 14: Representação gráfica da modelagem utilizada 92
Figura 15: Janelas e suas amplitudes.....98
Figura 16: Subindicadores considerados 98
Figura 17: Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade.....99
Figura 18: *Ranking* de Circularidade e Sustentabilidade médias 101
Figura 19: Subindicadores dos países com maiores valores para o Indicador Composto 105
Figura 20: Subindicadores dos países com menores valores para o Indicador Composto 110
Figura 21: Indicador Composto somente com a dimensão de circularidade....114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Análise de sensibilidade do Indicador Composto 115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Países membros da União Europeia 28
Tabela 2: Indicadores macro de acordo com Banaite e Tamosiuniene (2016). 47
Tabela 3: Indicadores de Economia Circular a nível macro segundo De Pascale *et al*. (2021) 48
Tabela 4: Indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....72
Tabela 5: Estimação dos Modelos.....80
Tabela 6: Perspectiva Econômica da Economia Circular.....86
Tabela 7: Perspectiva Social da Economia Circular.....86
Tabela 8: Perspectiva Ambiental da Economia Circular.....87
Tabela 9: Sistema de Indicadores de Economia Circular a nível macro 88
Tabela 10: Indicadores Ambientais 89
Tabela 11: Indicadores Sociais.....91
Tabela 12: Indicadores Econômicos.....91
Tabela 13: Países da União Europeia analisados.....93
Tabela 14: Estatística descritiva dos dados brutos 94
Tabela 15: Estatística descritiva dos dados normalizados.....96
Tabela 16: Resultado do modelo BoD das janelas 100
Tabela 17: Colocação de cada país em cada janela 102
Tabela 18: *Ranking* do Indicador Composto para Metafronteira 103
Tabela 19: Valores médios dos subindicadores seis melhores países 104
Tabela 20: Número de publicações referentes aos temas dos últimos países colocados 112
Tabela 21: Iniciativas dos países europeus rumo à Economia Circular 112
Tabela 22: Iniciativas regionais dos países europeus rumo à Economia Circular 113
Tabela 23: Indicadores Compostos macro de Economia Circular 116

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....22

1.1 Objetivo.....25
1.2 Estrutura da tese.....25

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....26

2.1 A União Europeia.....26
Economia Circular e Sustentabilidade na União Europeia.....29
2.2 Indicadores Compostos.....31
2.3 Economia Circular.....35
Ciclos e Princípios da Economia Circular.....39
Indicadores de Economia Circular.....45
2.4 Sustentabilidade, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Economia Circular.....49

3. MÉTODO.....55

3.1 Delimitação espacial.....56
3.2 Delimitação temporal.....56
3.3 Passos de procedimentos.....56
Passos de procedimentos para estabelecer a relação entre Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 1).....58
Passos de procedimentos para desenvolver o Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 2).....58
3.4 Ferramentas de Análise.....60
Econometria: Dados em painel.....60
Análise Envoltória de Dados.....64
Modelo DEA-BoD – *Benefit of the Doubt*.....67

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES – PARTE 1: Relações entre Economia Circular e Sustentabilidade.....70
Resultados e discussões das estimações.....78

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES – PARTE 2: Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade.....85
Resultados da agregação dos subindicadores.....92
Análise das variáveis.....94
Indicadores brutos.....94
Indicadores normalizados.....96
Construção das janelas.....96
Aplicação DEA-BoD.....98
Discussão dos resultados.....103
Análise do Indicador Composto com subindicadores de Economia Circular.....114

6. CONCLUSÕES 116

REFERÊNCIAS 119

1. INTRODUÇÃO

O anseio por um crescimento econômico incessante e rápido teve o custo do uso ineficiente e desperdiçador de recursos, além da poluição ambiental. As consequências são imensas e excedem em muito as capacidades planetárias de se regenerar em ritmo tão acelerado. Ficou claro que uma transição para sociedades sustentáveis não pode ocorrer com nosso atual modelo econômico linear e que a transição para a Economia Circular (EC) não é mais uma escolha, mas uma obrigação (VESNA *et al*., 2021).

De acordo com Tiossi e Simon (2021) a Sustentabilidade começa a receber maior atenção de ambientalistas e diversas autoridades governamentais a partir dos impactos negativos causados ao longo do tempo, em especial, pela Revolução Industrial. Com a prática de ações sustentáveis pelas empresas, resultados positivos começaram a despontar, mas mesmo com estratégias de combate e prevenção aos problemas oriundos da má utilização dos recursos naturais, essas práticas mostraram-se insuficientes para solucionar os problemas da contemporaneidade e a Economia Circular desponta como uma das melhores alternativas de contribuição à resolução desses diversos problemas.

A Economia Circular surgiu como um modelo que busca manter produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade pelo maior tempo possível, algo que não ocorre no tradicional sistema econômico denominado Sistema Linear. Segundo Abramovay (2014), os modelos lineares de produção e consumo estão atingindo seus limites, pois consistem em extrair e processar insumos da natureza com o fim de saciar as necessidades dos consumidores, e, ao fim de seu ciclo de vida, os produtos são descartados na forma de rejeitos.

A EC funciona de forma eficaz em qualquer escala, visto que é um ciclo de desenvolvimento contínuo que busca preservar e aprimorar cada vez mais o capital natural por meio da utilização de sistemas renováveis, culminando na minimização de riscos relacionados à precificação e disponibilidade dos insumos *(ELLEN MCARHUR FOUNDATION, 2018)*. Tal funcionamento ocorre por meio de fechamentos de ciclos, e permite alcançar melhor equilíbrio entre economia, sociedade e meio ambiente (GHISELLINI *et al*., 2016).

A implementação da EC implica na revisão dos padrões e práticas de produção tradicionais, e ainda na mudança de *mindset* dos produtores e consumidores, pois exige que padrões de produção sejam mais limpos e que o senso de responsabilidade destes seja expandido em conformidade com escopo do modelo econômico circular. Para tal, sempre que possível torna-se necessário o uso de tecnologias e/ou a adoção de políticas e ferramentas adequadas para seu acompanhamento (GHISELLINI *et al*., 2016).

A transição para a EC depende, além disso tudo, da criação de novos modelos de negócios (ANTIKAINEN; VALKOKARI, 2016), e dentre tais modelos, o Sistema Produto-Serviço (PSS-*Product Service System*), também conhecido como servitização é considerado, de acordo com Spring e Araújo (2017), um modelo de negócios que integra produtos e serviços com o objetivo de atender às necessidades do cliente.

Michellini *et al*. (2017) discutiram sobre a possibilidade de o PSS ser uma alternativa para as empresas obterem eficiência de recursos em alinhamento com os preceitos da Economia Circular. Com o objetivo de discutir a transição para a EC, por meio de uma revisão da literatura, os resultados de seu trabalho apontam que existe um consenso sobre a tendência da EC e que alguns autores recomendam modelos de negócios baseados em PSS, desde que sejam implementados com grande cautela, pois para diminuir os impactos ambientais, tal modelo de negócio deve ser intencionalmente projetado para tal.

Em virtude de toda abrangência da EC, Ghisellini *et al*. (2016) apresentaram uma revisão da literatura em que classificaram e dividiram as publicações científicas pertencentes ao tema, momento em que demonstram a relativa e absoluta escassez, até aquele momento, de trabalhos que apresentassem ferramentas indicativas para evidenciar e avaliar a implementação e o desempenho de atividades circulares.

No contexto de Indicadores para EC, Feng e Yan (2007) trataram do desenvolvimento de um sistema de avaliação considerado eficaz para a obtenção de informações precisas e melhorar a orientação em relação à implementação de práticas de Economia Circular e, em virtude da ênfase na harmonização entre as relações econômicas, sociais e ecológicas, tal sistema de avaliação deve incorporar estas três dimensões.

A utilidade do emprego de Indicadores para a promoção de desenvolvimento sustentável igualmente foi abordada por Geng *et al*. (2008), que examinaram a aplicabilidade e viabilidade de um sistema de indicadores estabelecidos para avaliação do desempenho de parques eco-industriais chineses. Os autores sugerem a adicão de dimensões ecológicas aos Indicadores que ajudarão a promover mais desenvolvimento sustentável dos parques industriais.

Ainda sobre a primordialidade da utilização de métricas para processos que abordam além de melhorias incrementais de eficiência na utilização de recursos e que possam capturar ações mais transformadoras, como por exemplo, a possibilidade de projetar geração de residuos ou ainda utilizar materiais sustentáveis, são notadas em Preston (2012) que, da mesma forma que Geng *et al*. (2008) e Feng e Yan (2007), sugere a adoção generalizada de uma metodologia concordante para a elaboração de Indicadores, tanto sob a ótica macro quanto sob a ótica micro de um sistema econômico.

Geng *et al*. (2013) expõe como a China apresenta grandes oportunidades para o desenvolvimento de novos sistemas de indicadores ambientais úteis à medição e gerenciamento da EC frente à política nacional de modernização ecológica, crescimento verde e desenvolvimento de baixo carbono daquele país.

Indicadores baseados em gestão de resíduos foram apresentados por Zaman e Lehmann (2013) e mais tarde, por Park e Chertow (2014). O primeiro, denominado Índice de Resíduo Zero, avalia a quantidade de materiais virgens, energia, água e emissões de gases estufa substituídos pelos recursos que são restaurados de fluxos de resíduos. Enquanto que o segundo, intitulado Indicador de Potencial de Reutilização, auxilia a tomada de decisões gerenciais sobre resíduos, com base na capacidade técnica dos materiais em serem reutilizados.

Assim como Feng e Yan (2007), Geng *et al*. (2008) e Preston (2012), a inevitabilidade de um sistema de indicadores para o fornecimento de diretrizes a gestores públicos e privados foi discutido por Su *et al*. (2013), na qual a eficácia de políticas e estratégias para o desenvolvimento bem-sucedido da EC requer.

Para Golinska *et al*. (2015), há um hiato acadêmico em relação à avaliação da remanufatura, no que se refere a questões de sustentabilidade. Com o intuito de prover tal lacuna, apresentam um conjunto de Indicadores para serem empregados como critérios de avaliação de sustentabilidade e apresentaram uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisões por meio da classificação do estato atual das operações de remanufatura.

Dado o contexto apresentado, a presente proposta de pesquisa pode ser justificada devido ao fato de que as publicações em Economia Circular sugerem a criação de ferramentas que proporcionem a avaliação das práticas de EC, tanto devido à sua importância na indicação de diretrizes para a evolução da própria EC, quanto devido à escassez relativa e absoluta de publicações nesse sentido. O trabalho de Geng *et al*. (2012) apresentou uma análise do sistema nacional de indicadores de EC da China e concluiu que benefícios podem ser obtidos a partir de uma revisão substanciosa devido à falta de um conjunto abrangente de indicadores de sustentabilidade que deve incluir indicadores sociais, de negócios, simbiose urbana/industrial, redução de exploração de recursos e energia e indicadores voltados à prevenção de descarte.

1.1 Objetivo

Os temas considerados nesta tese são Economia Circular e Sustentabilidade numa abordagem macro. O trabalho tratou sobre as relações entre as duas áreas de conhecimento, e ainda apresenta a criação de um indicador composto que tem por objetivo mensurar o nível de circularidade e sustentabilidade de macrorregiões.

Com esse entendimento, o objetivo do presente trabalho é avaliar a relação entre Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 1) e, a partir disso, desenvolver um Indicador composto de Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 2) capaz de prover um ranking para países ou regiões.

Para tanto, o trabalho utilizou modelos econométricos com o intuito de verificar e medir a relação entre os dois temas, e ao final aplicou o método de Análise Envoltória de Dados, com uma modelagem chamada BoD – *benefith of the doubt* para a elaboração do indicador composto para um conjunto de 22 países da União Europeia, no período compreendido entre 2011 e 2018.

1.2 Estrutura da tese

Além deste capítulo introdutório, a presente tese apresenta outros cinco capítulos. No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica do trabalho, que é composta pela caracterização da União Europeia, revisão bibliográfica sobre a Teoria dos Indicadores Compostos, revisão bibliográfica sobre Economia Circular, indicadores de Economia Circular e, por fim, uma revisão sobre a relação entre Economia Circular e os Objetivos de Sustentabilidade.

O Capítulo 3 apresenta o método do trabalho, que é composto pelas delimitações temporais e espaciais, os passos de procedimentos necessários para a execução do trabalho, que foram divididos em duas partes, e por fim a apresentação das ferramentas de análise utilizadas, apresentando o modelo econométrico utilizado, breve apresentação da Análise Envoltória de Dados (DEA) e por fim, o modelo de cálculo de indicadores compostos DEA-BoD – *Benefit of the doubt.*

O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões da primeira parte do objetivo principal deste trabalho, que foi analisar econometricamente as relações entre Economia Circular e Sustentabilidade.

O Capítulo 5 trata dos resultados e discussões da segunda parte do objetivo principal da tese, que foi a elaboração do Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade. Nesta seção do trabalho são apresentadas discussões sobre os subindicadores/variáveis utilizados, construção das janelas de análise, aplicação do modelo, discussão dos resultados e análise de sensibilidade.

Finalmente, o Capítulo 6 aborda as conclusões gerais desta tese. O objetivo deste capítulo é alinhar os resultados encontrados nos capítulos anteriores, discorrer sobre as limitações encontradas e oportunidades de pesquisa que podem ser consideradas por estudos futuros.

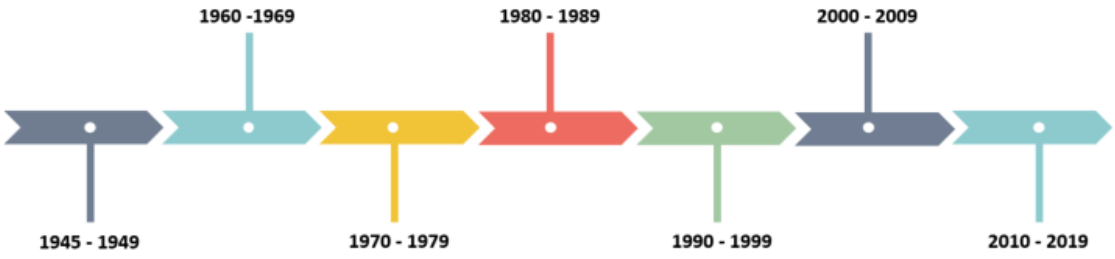
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentadas as características gerais da União Europeia (objeto de estudo neste trabalho), além de conceitos teóricos sobre Indicadores Compostos, Economia Circular e Sustentabilidade.

2.1 A União Europeia

A União Europeia (EU) é um bloco político e econômico composto por 27 países, chamados “Estados-membros independentes” situados no continente europeu. A UE tem as suas origens na Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA) e na Comunidade Econômica Europeia (CEE), formadas por seis países em 1957 (UE, 2022). A Figura 1 apresenta a linha do tempo desde a criação da UE e seu desenvolvimento ao longo do tempo.

Figura 1: Linha do tempo da União Europeia



Fonte: Produzido pelo autor

Durante o primeiro período (1945-1949) com o objetivo de pôr fim aos conflitos frequentes que culminaram na Segunda Guerra Mundial, os políticos europeus iniciam o processo de construção do que hoje é a União Europeia. A Comunidade Europeia do Carvão e do Aço, fundada em 1951, é o primeiro passo para garantir uma paz duradoura. Em 1957, o Tratado de Roma institui a Comunidade Econômica Europeia (CEE) e uma nova era de cooperação cada vez mais estreita na Europa. No entanto, este período também conta com a emergência da Guerra Fria que divide o continente por mais de 40 anos (UE, 2022).

No segundo período, década de 1960 é considerado um bom período para a economia, favorecida pelo fato de os países da CEE terem deixado de cobrar direitos aduaneiros sobre as trocas comerciais realizadas entre si. Acordam igualmente no controle conjunto da produção alimentar, para que todos tenham agora o suficiente para comer (EU,2022).

Durante o terceiro período (1970-1979), a Dinamarca, a Irlanda e o Reino Unido aderem às Comunidades Europeias, aumentando o número de Estados-Membros para nove. A democracia estende-se na Europa com a queda das ditaduras na Grécia, Portugal e Espanha. A política regional começa a aplicar grandes verbas para fomentar a criação de emprego e de infraestruturas (UE, 2022).

O quarto período (1980-1989) é marcado pela entrada da Grécia em 1981, tornando-se o 10º membro das Comunidades Europeias, e Espanha e Portugal aderem cinco anos mais tarde. O final da década assiste ao colapso dos regimes comunistas na Europa Central e Oriental (UE,2022).

O quinto período (1990-1999) foi marcado principalmente quando, em 1993, o mercado único foi lançado com a livre circulação de pessoas, bens, serviços e capitais. A década de noventa é também marcada por dois Tratados: o Tratado da União Europeia ou Tratado de Maastricht, em 1993, e o Tratado de Amsterdã, em 1999. A Áustria, a Finlândia e a Suécia aderem à UE em 1995 (EU, 2022).

Durante a década seguinte (2000-2009) com o Euro já em circulação (desde 1999) como moeda comum europeia, as divisões entre a Europa Ocidental e a Europa Oriental são sanadas ao passo que dez novos países aderem à UE em 2004, seguidos pela Bulgária e a Romênia em 2007 (UE, 2022).

Por fim, durante o período de 2010 -2019, a crise econômica mundial tem fortes repercussões na Europa. As convulsões e guerras em vários países levam a grande imigração de pessoas para a Europa. As alterações climáticas continuam a ser a prioridade e os países fazem um acordo para reduzir as emissões nocivas para o ambiente. Em 2013, a Croácia torna-se o 28º Estado-Membro, enquanto que o Reino Unido acaba por sair da União Europeia (UE,

2022). A Tabela 1 apresenta os países membros da União Europeia, algumas características físicas e o ano de ingresso.

Tabela 1: Países membros da União Europeia

País	**Ano de ingresso**	**População (Milhões) 2020**	**Área km2**	**Ranking IDH 2020**
Alemanha	1958	83,24	357.588	6
Áustria	1995	8,91	83.871	18
Bélgica	1958	11,56	30.688	14
Bulgária	2007	6,92	110.994	56
Chipre	2004	1,2	9.251	33
Croácia	2013	4,04	56.594	43
Dinamarca	1973	5,83	43.094	10
Eslováquia	2004	5,46	49.034	39
Eslovênia	2004	2,1	20.273	22
Espanha	1986	47,35	505.990	25
Estônia	2004	1,33	45.338	29
Finlândia	1995	5,53	338.440	11
França	1958	67,39	543.940	26
Grécia	1981	10,72	131.957	32
Holanda	1958	17,44	41.543	8
Hungria	2004	9,75	93.025	40
Irlanda	1973	4,99	70.273	2
Itália	1958	59,55	301.230	29
Letônia	2004	1,9	64.589	37
Lituânia	2004	2,79	65.300	34
Luxemburgo	1958	0,632	2.586	23
Malta	2004	0,525	316	28
Polônia	2004	37,95	322.575	35
Portugal	1986	10,31	92.212	38
República Tcheca	2004	10,7	78.871	27
Romênia	2007	19,59	238.397	49
Suécia	1995	10,35	528.447	7

Fonte: Produzida pelo autor

Vale ressaltar que a Europa é formada por 50 países, indicando que ainda há possibilidade para crescimento do bloco em relação à incorporação de novos países. De acordo com o Portal da União Europeia (2022) a adesão à UE é um processo complexo e demorado. Além de ter de cumprir as condições de adesão, o país candidato é demandado a aplicar a legislação e a regulamentação europeias em todos os domínios.

Os países que satisfazem as condições de adesão podem apresentar a sua candidatura. Estas condições, conhecidas como Critérios de Copenhague, implicam a existência de uma economia de mercado em funcionamento, de uma democracia estável e de um Estado de

Direito, bem como a aceitação de toda a legislação e regulamentação europeias, nomeadamente o Euro.

Um país que deseje aderir à UE deve apresentar a sua candidatura ao Conselho da União Europeia, que, por sua vez, solicita à Comissão Europeia que avalie a sua capacidade para satisfazer os critérios de Copenhague. Se a Comissão der um parecer positivo, o Conselho tem de chegar a acordo sobre um mandato de negociação. São então oficialmente abertas negociações durante as quais cada domínio é debatido separadamente.

Dado o grande volume de legislação e regulamentação europeias que cada país candidato tem de transpor para o direito nacional, as negociações levam bastante tempo. Os candidatos são apoiados financeiramente, administrativamente e tecnicamente durante este período de pré-adesão.

Economia Circular e Sustentabilidade na União Europeia

A promoção do desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza nos países mais pobres do mundo são compromissos interligados e frequentemente reiterados da União Europeia (BRETHERTON; VOGLER, 2008).

Em relação ao desenvolvimento sustentável na União Europeia, Herciu e Ogrean (2014) ampliaram o índice de competitividade global com um ajuste à sustentabilidade, com a inclusão de duas novas dimensões: Social e Ambiental, com a ideia central de competitividade sustentável, que é refletida na busca de um modelo que equilibre prosperidade econômica, questões ambientais e sustentabilidade social. Como resultados, apenas Bulgária e Romênia possuíram pontuações consideradas baixas.

Com a implementação do plano de ação de Economia Circular proposto em 2015 as práticas circulares em vários setores, devido a políticas e regulamentações governamentais foram facilitadas e este novo paradigma de sustentabilidade tornou-se uma força orientadora por trás das políticas ambientais e econômicas. A reciclagem tem sido a estratégia circular mais utilizada para o retorno de materiais ao sistema; e os setores pioneiros na implementação de CE na União Europeia são os relacionados à gestão de resíduos, indústrias de equipamentos elétricos e eletrônicos e indústrias de construção (MHATRE *et al*., 2021; MARTINHO; MOURÃO, 2020; FRIANT *et al*., 2021).

Porém há quem avalie que os progressos alcançados ainda são limitados, apesar de o tema ser amplamente discutido na UE. Um dos motivos para esses progressos pouco expressivos é a existência de várias barreiras tecnológicas (KIRCHHERR *et al*., 2018).

De acordo com Kirchherr *et al*. (2018), tais barreiras não possuem caráter tecnológico, mas sim cultural. Tais barreiras são impostas principalmente por parte do consumidor, com falta de interesse e conscientização e por parte das empresas que possuem uma cultura hesitante. Para resolver esse impasse, de acordo com os autores seria importante intervenção governamental mais sinérgica para acelerar a transição e manter o ímpeto.

Em relação à intervenção governamental, assim como Kirchherr *et al*. (2018), em seu trabalho, Del Mar Alonso-Almeida *et al*. (2021) propôs a teoria do "empreendedorismo institucional", pois apesar da filosofia da EC ser de fácil compreensão, é muito complexa para se colocar em prática, sendo dessa forma necessária a análise de facilitadores institucionais para impulsionar a transição para a EC na União Europeia.

Em seu trabalho, Hartley *et al*. (2020) afirmaram que de fato existem muitos trabalhos que abordam as barreiras para uma implementação da EC na União Europeia, porém declara que existem relativamente poucos estudos que abordam políticas que aceleram a transição para uma EC. Dentre tais políticas, os autores destacaram a importância de incluir padrões e normas mais robustos na produção, expansão das compras circulares, desoneração fiscal para produtos circulares, liberalização do comércio de resíduos e sua facilitação por meio de plataformas virtuais, apoio a parques eco industriais e campanhas de conscientização.

A União Europeia adotou uma abordagem particular à circularidade, com grandes expectativas para aumentar a competitividade, promover o crescimento econômico e criar empregos, reduzindo os impactos ambientais e a dependência de recursos. Apesar disso, de acordo com Friant *et al*. (2021) a EC é um paradigma contestado, para o qual existem muitas interpretações concorrentes, cada uma buscando graus variados de transformação social, ecológica e política e os resultados de seu trabalho apresentam a existência de uma dicotomia entre palavras e ações, enquanto que as políticas se concentram em soluções "*end of pipe*" e não consideram as muitas implicações socioecológicas de uma transição de circularidade.

Em seu trabalho, Silvestri *et al*. (2020) segmentou as regiões dos países da União Europeia em termos de implementação de EC. Para tal, utilizaram dois indicadores compostos: CESI – *Circular Economy Static Index* e CEDI – *Circular Economy Dynamic Index*, com uma análise estatística e dinâmica do desempenho da EC nas regiões dos países europeus, os resultados dividiram as regiões em quatro grupos:

O grupo (1) caracteriza-se por desempenho acima da mediana para ambos os indicadores compostos; este grupo inclui algumas das regiões mais desenvolvidas e inovadoras da Europa que incluem: *Île de France* (França), *Brabant Wallon*, *Antuérpia* e *Région de Bruxelles* (Bélgica), Berlim e Hamburgo (Alemanha) e Catalunha (Espanha).

O grupo (2), são regiões onde o CESI está com bom desempenho, mas o CEDI apresenta valores baixos. Este grupo incorpora muitas das regiões mais ricas da Europa, por exemplo, Friburgo (Alemanha) e a Comunidade de Madrid (Espanha) e inclui algumas das regiões mais desenvolvidas da Itália.

O grupo (3), caracteriza-se por baixos valores de CESI e alto desempenho no CEDI, a maioria dos que se enquadram nesses grupos são regiões do Leste Europeu. E por fim, o grupo (4), é composto pelas regiões com valores modestos em ambos os índices, e é caracterizado pela presença de regiões com desempenho muito baixo, incluindo a maioria das regiões italianas.

Também com a utilização de indicadores, Mazur-Wierbicka (2021) realizou uma análise comparativa multidimensional da implementação da EC pelos países da UE. Os indicadores utilizados foram os propostos pela Comissão Europeia, criando um índice de desenvolvimento da economia circular (IDCE). Como resultado de seu trabalho, concluiu-se que entre todos os países da UE, os da antiga UE são os mais avançados em termos de CE. A análise confirmou tendências crescentes significativas para o IDCE apenas no caso da Bélgica e da Holanda.

Além disso, as iniciativas de nível macro por governos e/ou órgãos administrativos regionais predominam na implementação de CE na UE. Uma transição adicional para a EC pode ser facilitada por políticas governamentais, infraestrutura e disponibilidade tecnológica, conscientização, colaboração das partes interessadas e integração da cadeia de suprimentos (KIRCHHERR *et al*., 2018; HARTLEY *et al*, 2020; DEL MAR ALONSO-ALMEIDA *et al*., 2021; MHATRE *et al*., 2021).

Como visto até aqui, a iniciativa de Economia Circular e seu debate na União Europeia é bastante ativo, com o desenvolvimento recente de métricas para a medição de progressos em direção à circularidade e a discussão acerca de facilitadores e mudança de paradigmas tanto por parte dos consumidores quanto por parte das empresas, além de a preocupação em se manter o ímpeto das mudanças e na dicotomia entre discurso e ações práticas rumo à Economia Circular na União Europeia.

2.2 Indicadores Compostos

Tecnicamente, um Indicador Composto (IC) é uma agregação matemática de um conjunto de subindicadores (Indicadores Simples) com o intuito de medir conceitos multidimensionais que não podem ser capturados espontaneamente diante de sua complexidade, por vezes indescritíveis por um único indicador, condensando as características

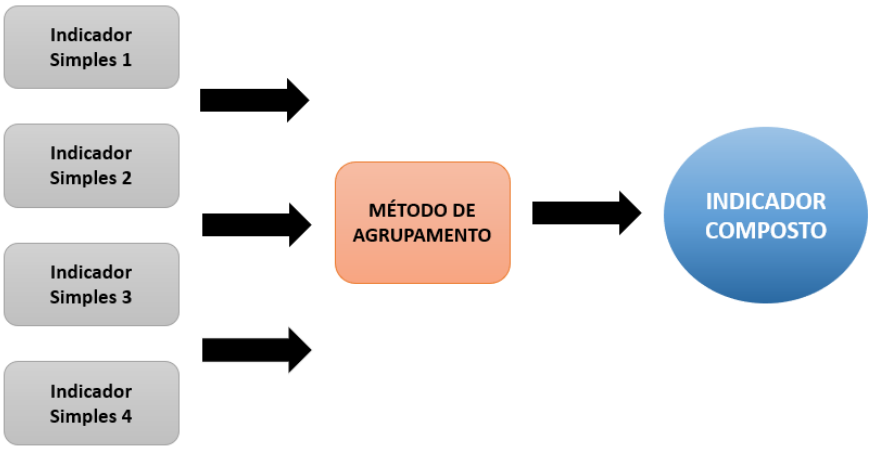
de um sistema ou destacando o que está transcorrendo em um determinado sistema (OCDE, 2008; SAISANA; TARANTOLA, 2002; BOOYSEN, 2002).

De acordo com Mariano (2019), indicadores compostos, além de serem bastante úteis para uma série de aplicações acadêmicas, ainda possuem um enorme potencial de uso político, diante da facilidade em lidar com um único índice agregado ao invés de diversos indicadores separadamente.

Conforme Saltelli (2007), o emprego de IC´s, além de favorecer o entendimento de questões dadas como complexas (OCDE, 2008), mostram-se úteis quando possibilitam o *benchmarking* de desempenho das unidades em que se aplica o método de agregação de indicadores.

Saisana e Tarantola (2002) apresentaram uma metodologia de aplicação e construção de IC´s, da mesma forma que Cohen e Franco (2002) relataram detalhadamente uma estrutura similar para a aplicação e construção destes para projetos sociais. Para tanto, foram utlizados os passos de procedimento padrão para a criação de indicadores compostos, além de elucidar teoricamente diferentes conceitos para o entendimento da confecção e aplicação dos IC´s, na forma como é ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Elaboração de um Indicador Composto



Fonte: Adaptado de Jannuzzi, 2001

Como apresentado na Figura 2, os IC´s são resultado da algutinação de Indicadores Simples, por meio de um método de agrupamento. A distinção na classificação de Indicadores em simples ou compostos se dá segundo Cohen e Franco (2002) e Jannuzzi (2001) devido ao seu grau de complexidade metodológica.

Indicadores simples são, segundo a abordagem específica de Cohen e Franco (2002), construídos a partir de uma estatística social específica referente a uma determinada dimensão, porém não necessariamente devem ser derivados apenas de estatísticas sociais, pois segundo Booysen (2002) tais dimensões podem ser também econômicas, ambientais e até tecnológicas.

Logo, o IC é formado à partir de um método de agrupamento dos Indicadores Simples (IS), desde que se refiram explicitamente às dimensões parciais do conceito em análise e deve ser, segundo Booysen (2002), apontada a maneira como os dados serão colocados em relação mútua, isto é, como serão atribuídos os valores numéricos, a ponderação e sua combinação, de modo que seja capaz de orientar de forma objetiva a priorização de recursos e ações políticas (JANNUZZI, 2011).

Os pontos positivos e negativos da utilização de IC´s como método de aglomeração de informações foram enumerados por Saisana e Tanrantola (2002), compilados pela OCDE (2008) e mais tarde abordados por Rogge (2012). Os argumentos favoráveis à tal utilização recaem sobre o fato de os IC´s poderem ser utilizados para resumir questões complexas e/ou multidimensionais para apoiar tomadores de decisões; tornarem as interpretações mais acessíveis do que buscar encontrar uma tendência em muitos indicadores isolados, facilitando a tarefa de classificar os países e/ou regiões em questões complexas; ajudarem na atração do interesse público fornecendo uma sinópse que possibilita a comparação de desempenho entre países e seu progresso ao longo do tempo; e finalmente por poderem contribuir com a reduçao do tamanho de uma lista de indicadores ou a incluir mais informações dentro do limite de tamanho existente.

Como pontos negativos figuram os fatos de que os IC´s podem transmitir mensagens de políticas enganosas e não robustas caso sejam mal construídos ou forem mal interpretados; os resultados apresentados pelos IC´s podem levar políticos ou tomadores de decisões a conclusões simplistas; a seleção de IS´s e pesos pode ser o alvo de disputas políticas.

Porém, para evitar tais inconvenientes, expõe-se algumas ações que podem evitar grande parte dos problemas sugeridos pela literatura tais como: aplicar análises de sensibilidade e robustez nos IC´s; os resultados devem ser utilizados em combinação com os IS para permitir conclusões concretas; e a seleção de IS´s e a definição do modelo a ser utilizado, assim como os indicadores de ponderação eleitos e o tratamento de valores omissos devem ser transparentes e baseados em princípios científicos e estatísticos considerados sólidos (SAISANA;TARANTOLA, 2002; OCDE, 2008; ROGGE, 2012).

Diante das eventuais adversidades procedentes da aplicação da agregação de indicadores por meio de IC´s, Saisana *et al*. (2005) propuseram a utilização da análise de

incerteza e de sensibilidade durante o processo de sua construção, oferecendo a discussão sobre até que ponto o uso da análise de incerteza e sensibilidade pode ampliar a transparência de um Indicador. O método proposto foi aplicado ao Índice de Realização de Tecnologia das Nações Unidas – *United Nations's Technology Achievement Index (TAI)*.

Sobre políticas e tomadas de decisões, Saltelli (2007) estabelece o vínculo entre o emprego de IC´s para propósitos analíticos e argumenta a favor do desenvolvimento de uma cultura de avaliação de políticas baseadas em informação por meio de Indicadores. Seu trabalho explorou a capacidade da agregação de processos multidimensionais em conceitos mais simplificados a partir da construção dos IC´s.

Ainda sobre os eventuais impasses (SAISANA;TARANTOLA, 2002; OCDE, 2008; ROGGE, 2012) na utilização de IC´s, diferentemente de Saisana *et al*. (2005), que abordou a utilização de análise de sensibilidade e incerteza, Cherchye *et al*. (2007) trataram o problema das controvérsias existentes relacionadas ao conjunto de pesos e esquema de ponderação na combinação dos IC´s utilizados. Para tanto, apontou a Análise Envoltória de Dados *(Data Envelopment Analysis – DEA)* como sendo uma ferramenta eficaz para superar tais limitações.

O préstimo da DEA no contexto da elaboraçao de IC´s deriva de sua invariância às unidades de medida, o que implica no desprezo de um estágio de normalização. Em segundo lugar, preenche a lacuna informacional do conjunto "correto" de pesos gerando pesos flexíveis de "benefício da dúvida"*(Benefit of the Doubt – BoD)* para cada país/unidade avaliado(a). A incomplexidade de interpretação seria uma terceira vantagem do modelo (CHERCHYE *et al*., 2007).

Testes de robustez e sensibilidade, tais como foram abordados por Saisana (2005) foram tratados por Decancq *et al*. (2013), que determinaram que tais testes devem ser solicitados para especificar se os resultados são motivados unicamente pelo valor dos pesos selecionados. Com o objetivo de estudar o papel dos pesos relativos às diferentes dimensões do bem estar das sociedades, categorizaram as abordagens em três classes: ponderada por dados, normativa e ponderação híbrida e elaboraram uma comparação entre suas respectivas vantagens e desvantagens.

Saisana *et al*. (2011) realizaram uma análise de robustez e reforçaram a necessidade de aplicação de tais testes para a confeccção de IC´s, e acentuaram que embora estes testes ja tenham se mostrado úteis no desenvolvimento de outros indicadores ao longo da literatura, sua utilização não é prática comum.

Como visto até então, os IC´s freqüentemente provocam controvérsias sobre inevitáveis subjetividades em sua construção e, sendo assim, Cherchye *et al*. (2008) propuseram

a aplicação de DEA, como visto igualmente em Cherchye *et al*. (2007), de modo a superar tais limitações. Isso pela possibilidade de não haver a necessidade de informação prévia sobre a normalização de subindicadores ou sobre um conjunto de pesos.

Tais controvérsias permanecem, e essa incerteza de modelagem se propaga para as pontuações e classificações de IC's. E como apontado em Saisana *et al*. (2011) e Decancq *et al*. (2013) a análise de incerteza e sensibilidade é apontada necessária para avaliar a robustez do resultado final e analisar quanto cada fonte de incerteza contribui para a variância do produto.

Hoskins, B. L. e Mascherini, M. (2009) resolveram o imbróglio relacionado aos pesos com a aplicação de consulta a especialistas em conjunto com a aplicação da ferramenta de análise de sensibilidade em seu trabalho, que teve como objetivo desenvolver um IC a partir de 61 indicadores para medir a Cidadania Ativa, num contexto europeu, com participação baseada em valores combinando quatro dimensões: Mudança Social, Vida Comunitária, Democracia Representativa e Valores Democráticos.

De maneira análoga ao que vem sendo discutido até então, Zhou *et al*. (2010) se depararam com o problema de subjetividade na determinação dos pesos, que foi contornado utilizando modelagem DEA, assim como preconizam Cherchye *et al*. (2007) e Cherchye *et al*. (2008), tornando, como dito anteriormente, desnecessário o conhecimento prévio dos pesos.

Por fim, Hermans *et al*. (2008), definiram o método de DEA como sendo altamente oportuno para o desenvolvimento de um IC, dado o teste realizado em seu trabalho de cinco técnicas de determinação de pesos, sendo elas: análise fatorial, processo de hierarquia analítica, alocação de orçamento, DEA e ponderação igual. Tais instrumentos foram aplicados no processo de construção de um indicador de segurança de trânsito, sendo que os pesos baseados em DEA resultaram na mais alta correlação com o *ranking* de segurança viária de 21 países europeus.

2.3 Economia Circular

Há atualmente um consenso amplo de que as vigentes práticas de produção e consumo humano estão gerando um impacto prejudicial sobre a qualidade ambiental, social e a estabilidade econômica de longo prazo (ANDREWS, 2015; MICHELINI *et al*., 2017; MILLAR *et al*., 2019).

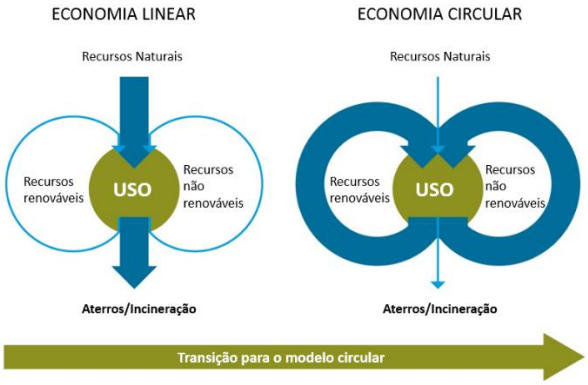
O conceito de Economia Circular possui origens profundamente enraizadas que não podem ser ligadas a uma única data ou autor. Suas aplicações práticas para os sistemas

econômicos modernos e processos industriais, no entanto, adquiriram uma nova dinâmica, desde o fim da década de 1970, liderada por um pequeno número de acadêmicos, líderes intelectuais e empresas (ANDREWS, 2015; GHISELINI *et al*., 2016; ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2018). A EC é considerada um novo modelo econômico que visa promover o crescimento econômico sustentável, aumentar a competitividade global e gerar novos empregos (ANTIKAINEN E VALKOKARI, 2016).

Tal conceito obteve apoio de acadêmicos, formuladores de políticas e empresas na forma de um modelo alternativo que torna capaz alcançar padrões de produção e consumo que impliquem em impacto ambiental insignificante, enquanto que da mesma forma estimule o crescimento econômico (MILLAR *et al*., 2019; GENG e DOBERSTEIN, 2010).

Dessa forma, o elemento definidor da EC é o "uso restaurativo" de recursos, de modo que as matérias-primas não se tornarão resíduos descartados ao final do ciclo de vida do produto final (GEISENDORF e PIETRULLA, 2017), como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3: Transição da Economia Linear para a Economia Circular



Fonte: Adaptado de *PBL Netherlands Environmental Assesment Agency*, 2017

A EC é vista como uma alternativa lógica, talvez até como uma evolução do sistema linear vigente. Na economia linear, os recursos naturais são extraídos para produzir materiais que são manufaturados em produtos, que ao final de sua utilização acabam por serem incinerados ou aterrados. Por outro lado, a essência da EC é a de preservar os recursos naturais e manter a qualidade e o valor dos produtos e de suas partes. A transição do modo linear para o modo circular ocorre perante a atenuação da extração de recursos naturais e consequente diminuição de rejeitos, decorrência do reuso e reciclagem dos materiais para a manutenção da satisfação das necessidades de consumo dos agentes econômicos (*PBL NETHERLANDS ENVIRONMENTAL ASSESMENT AGENCY*, 2017; GEISENDORF e PIETRULLA, 2017).

O conceito de EC se caracteriza como uma economia restaurativa (Geisendorf e Pietrulla, 2017) e regenerativa por princípio e tem como objetivo manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, fazendo distinção entre ciclos técnicos e biológicos. É concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis. Ela funciona de forma efetiva em qualquer escala. Esse novo modelo econômico busca, em última instância, dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos (Geng e Doberstein, 2008; *Ellen Mcarthur Foundation*, 2015), e possui raízes nas seguintes escolas de pensamento: Design Regenerativo, "Berço ao Berço" (*Cradle to Cradle)*, Ecologia Industrial, Biomimética e Economia Azul.

Nos Estados Unidos, John T. Lyle começou a desenvolver ideias de Design Regenerativo que poderiam ser aplicados para todos os sistemas, ou seja, para além da agricultura, para o qual o conceito de regeneração havia sido formulado anteriormente, estabelecendo as bases do *framework* de Economia Circular as quais foram notavelmente desenvolvidas (ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2018). Em tributo a Lyle, foi criado o Centro de Estudos Regenerativos que é fundamentado no conceito de construir um ecossistema humano funcional, incorporando necessidades e desejos humanos aos padrões de energia e fluxos de materiais e processos de mudança da natureza. A missão do centro de estudos é a educação, comprovação e pesquisa em sistemas regenerativos para apoio à vida humana num ambiente estudantil, pois alunos e professores vivem no local, cultivam alimentos e interagem como uma pequena comunidade com responsabilidades compartilhadas de governança (*U.S. DEPARTMENT OF ENERGY*, 2018).

O *framework Cradle to Cradle* é focado no design para a efetividade em termos de produtos com impacto positivo e redução dos impactos negativos da comercialização através da efetividade (*Ellen MArthur Foundation*, 2018), isto é, foco na recuperação de recursos, reciclagem e reutilização, pois essa filosofia de projeto considera todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais para serem nutrientes, dos quais há duas principais categorias: técnicos e biológicos (KUMAR e PUTNAM, 2008).

O conceito de Ecologia Industrial é baseado em arquétipos como desenvolvimento sustentável, avaliação econômica do ciclo de vida, gerenciamento ambiental integrado e simbiose industrial (EHRENFELD, 2004), e possui como foco o estudo dos fluxos de materiais e energia nos sistemas industriais concentrando-se em conexões entre operadores dentro do "ecossistema industrial" (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018). Essa abordagem visa a

criação de processos de ciclo fechado nos quais os resíduos servem como insumo, eliminando dessa forma a noção de um subproduto indesejável. A Ecologia Industrial adota um ponto de vista sistêmico, projetando processos de produção de acordo com as restrições ecológicas locais, enquanto observa seu impacto global desde o início, e procura moldá-los para que funcionem o mais próximo possível dos sistemas vivos *(ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018). O sistema industrial pode ser visto como um certo tipo de ecossistema. Afinal, o sistema industrial, assim como ecossistemas naturais, pode ser descrito como um distribuição de materiais, energia e fluxos de informação. Além disso, todo o sistema industrial depende de recursos e serviços fornecidos pela biosfera, de quem não pode ser dissociado (ERKMAN, 1997).

Janine Benuys, autora de "*Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*", define sua abordagem como um novo conteúdo que investiga as melhores ideias da natureza, para então reproduzir esses *designs* e processos na solução dos problemas humanos (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018). Biomimética, significa "imitação da vida", e é definida como: "O *design* e produção de materiais, estruturas e sistemas que são modelados em entidades e processos biológicos". A maioria das aplicações, inspiradas na natureza, consiste principalmente em assemelhar a fisiologia, morfologia e anatomia do mundo vegetal e animal para otimizar ou tornar mais eficiente a estrutura dos materiais (KUBLER *et al*., 2019). O conceito de Biomimética se baseia nos princípios de ter a natureza como modelo, medida e condutora. Simular os modelos da natureza, processos, sistemas e estratégias para solucionar os problemas humanos; utilizar um padrão ecológico para julgar a sustentabilidade das nossas inovações; e observar e valorar a natureza não com base no que pode ser explorado do mundo natural, mas no que é possível aprender com ele (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018).

O conceito de Economia Azul surgiu com um movimento *open source*, que engloba estudos de casos concretos, empregando os recursos disponíveis em sistemas em cascata, isto é, os resíduos de um produto se tornam insumos na concepção de outro(s). Baseado em 21 princípios base, a *Blue Economy* insiste em soluções determinadas por seu ambiente local e suas características físicas/ecológicas, colocando a ênfase na gravidade como a fonte primária de energia (PAULI, 2010; ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2018).

O fenômeno denominado *Decouplig* tem por definição o crescimento econômico dissociado do consumo de recursos (Kjaer *et al*., 2019); é visado no limite pelos conceitos de Ecologia Industrial, Economia Azul e *Cradle to Cradle* e isso é o que os relaciona à Economia Circular. A circularidade pregada pela EC ocorre no modelo de ciclo de vida "*Cradle to cradle"* quando os produtos não são dispostos na natureza sob a forma de resíduos e passam a recompor

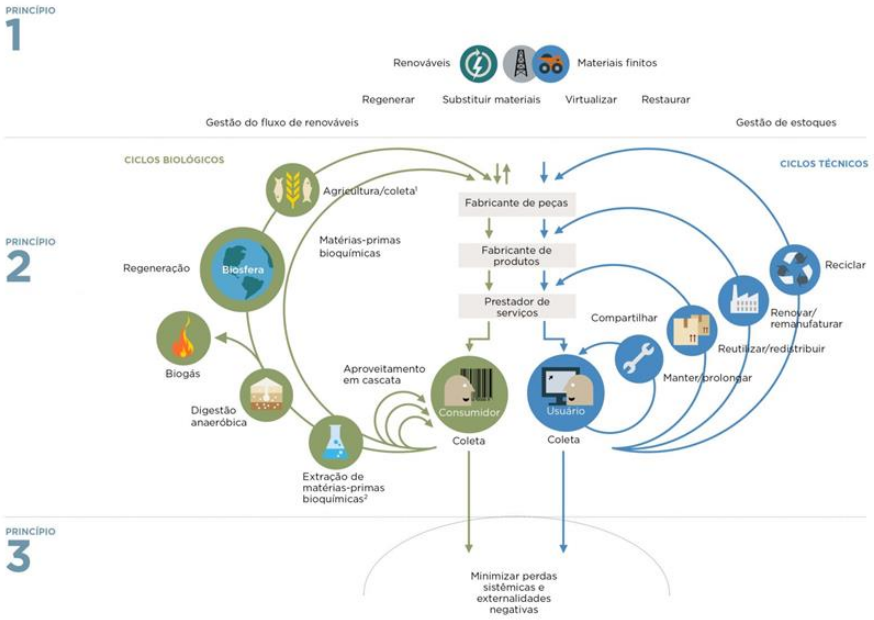
o ciclo de vida novamente, enquanto que a Economia Azul faz com que os recursos sigam em "cascata" participando de seguidos ciclos de vida e a Ecologia Industrial segue o mesmo modelo da Economia Azul, porém com um modelo sistêmico que se inspira em processos biológicos de ecossistemas.

Ciclos e Princípios da Economia Circular

A Fundação Ellen McArthur decompôs conceitualmente a Economia Circular em ciclos e princípios. São dois ciclos, sendo um técnico e um biológico, e são três princípios desenvolvidos pela fundação que pretendem conglomerar em cada um deles a preservação ambiental, a otimização de rendimento por meio da maximização de utilidade dos produtos ao longo de todo seu ciclo de vida e por último, zelar pela efetividade do sistema, que tem por objetivo revelar e excluir as externalidades negativas. A EC oferece diversos mecanismos de criação de valor dissociados do consumo de recursos finitos. Em uma Economia Circular verdadeira, o consumo só ocorre em ciclos biológicos efetivos. Afora isso, o uso substitui o consumo (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018).

Unindo os princípios básicos da Economia Circular e os Ciclos Técnicos e Biológicos apresentados pela Fundação Ellen McArthur, a entidade criou um esquema gráfico que sintetiza todos os fluxos de materiais e nutrientes, representados na Figura 4.

Figura 4: *Framework* para a Economia Circular



Fonte: Fundação Ellen McArthur, 2018

Preservar e aumentar o capital natural é a essência do Primeiro Princípio. Isto decorre por meio do controle dos estoques finitos de recursos e do equilíbrio dos fluxos de recursos renováveis por meio da desmaterialização dos produtos e serviços – com sua entrega virtual, sempre que possível. Quando houver a necessidade de recursos, o sistema circular seleciona-os com discernimento e, sempre que possível, escolhe tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou apresentam melhor desempenho. Uma Economia Circular além disso aumenta o capital natural estimulando fluxos de nutrientes no sistema e criando as condições necessárias para a regeneração (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018).

A otimização da produção de recursos remete ao Segundo Princípio. Tal potencialização ocorre através do incentivo à circulação de produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no denominado ciclo técnico quanto no biológico, por meio da arquitetura dos produtos para a remanufatura, ou para a reforma e a reciclagem, de modo que componentes e materiais continuem circulando e contribuindo para a economia (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018).

Por fim, o Terceiro Princípio refere-se ao fomento da eficácia do sistema circular por meio de pesquisas com o intuito de revelar as possíveis externalidades negativas dos projetos, incluindo a redução de potenciais perdas de qualidade nos produtos e serviços que os seres humanos necessitam, tais como alimentos, mobilidade, habitação, educação, saúde e entretenimento, e a gestão destas externalidades, como a utilização da terra, ar, água, poluição sonora, liberação de substâncias tóxicas e mudanças climáticas (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018).

Quanto aos ciclos, os recursos são regenerados no biológico ou são recuperados e restaurados no técnico (GEISENDORF; PIETRULLA, 2017). A Figura 5 ilustra os ciclos de maneira isolada e simplificadamente.

Figura 5: Ciclos Técnicos e Biológicos

Fonte: Adaptado de Flock – EPEA GmbH, 2018

No ciclo biológico, os processos naturais regeneram materiais sem a necessidade latente da intervenção humana. No ciclo técnico, desde que haja energia suficiente, a intervenção humana recupera materiais e recria a ordem em um tempo determinado. A manutenção ou o aumento do capital têm características diferentes nos dois ciclos.

Com o intento de reduzir emissões de poluentes, Geng e Doberstein (2008) defendem a implementação de estratégias de EC nas cidades industriais para atingir maiores níveis de eficiência por meio de estratégias nas áreas de infraestrutura e serviços de transportes. Tais estratégias de EC, da mesma maneira que apontam Geng *et al*., (2009), agregam valor para empresas e comunidades, otimizam o uso de energia, materiais e recursos, uma vez que incentivam as atividades econômicas a atuarem como se compusessem um ecossistema natural, de modo a realizar um ciclo fechado de fluxo de material no sistema econômico total.

Estratégias de EC foram tratadas por Zhu *et al*. (2011), que destacaram o papel significativo da pressão regulatória por parte dos governos para os fabricantes chineses modernizarem-se ecologicamente. Em seu trabalho versaram sobre a Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos, que apesar de possibilitar o equilíbrio do desempenho ambiental com ganhos de produtividade mediante economia de energia e redução de poluição, apenas se deu a partir de regulamentações governamentais naquele país.

Genovese *et al*. (2017) contemplaram as práticas verdes e sustentáveis na gestão de cadeias de suprimentos com a tentativa de integrar as preocupações ambientais nas organizações e dizimar as consequências negativas não intencionais no ambiente resultantes dos processos de produção e consumo, por meio da criação de sistemas de produção autossustentáveis nos quais os materiais são usados repetidas vezes. A integração dos princípios

da EC na gestão sustentável da cadeia de suprimentos pode fornecer vantagens claras do ponto de vista ambiental inseridos no contexto dos desafios emergentes da gestão da cadeia de suprimentos e a dinâmica do mercado (ZHU *et al*, 2011; GENOVESE *et al*., 2017).

Assim como Geng e Doberstein (2008) e Zhu *et al*. (2011) que abordaram em seus trabalhos a necessidade de redução de emissões, Xi *et al*. (2011), com o intuito de contribuir para a formulação de políticas governamentais para a redução de emissões de gases estufa e fomentar estratégias de circularidade nos distritos industriais chineses, elaboraram um estudo de caso que analisou o inventário de emissões de gases estufa da cidade chinesa de Shenyang demonstrando que os distritos industriais apresentavam grande capacidade de diminuição de suas emissões.

No âmbito da implementação e consolidação de Economia Circular, Kuo *et al*. (2012) avaliaram a qualidade e disponibilidade de informações de cunho ambiental divulgadas pelas empresas chinesas. Os resultados indicaram que as empresas ambientalmente sensíveis (de acordo com a classificação dos autores) e as empresas estatais estão significativamente mais comprometidas com a divulgação de informações ambientais, particularmente prestando atenção à economia de energia, redução de emissões de carbono e desenvolvimento da Economia Circular e promoção de pesquisa.

Inserido no contexto de Simbiose Industrial (SI), o trabalho de Dong et al. (2013) promulga que a SI pode gerar benefícios econômicos e ambientais em indústrias e comunidades agrupadas. Assim como Geng e Doberstein (2008), Zhu *et al*. (2011) e Xi *et al*. (2011), os resultados demonstraram que em comparação com o cenário tradicional de negócios, a SI pode reduzir as emissões de CO^2, amenizar a geração de resíduos sólidos e contribuir ainda mais para os benefícios conjuntos da economia de energia, redução de poluentes atmosféricos, da mesma forma que preconizaram os trabalhos de Geng e Doberstein (2008) e Geng *et al*., (2009) acerca da SI. Tais resultados são considerados muito importantes para a estratégia chinesa de baixo carbono, discutindo ainda as implicações políticas para apoiar a melhoria contínua da promoção da SI na China.

Wu *et al*. (2016), produziram uma abordagem para analisar a reutilização de saídas intermediárias indesejáveis em um processo de produção de dois estágios com um recurso compartilhado. Em muitas situações de produção industrial, os possíveis resíduos de primeira etapa podem ser imediatamente utilizados ou processados em um segundo estágio para produzir novos recursos que podem ser restituídos imediatamente ao primeiro estágio, da mesma forma que mais tarde, Genovese *et al*. (2017) sugeriram.

Recursos compartilhados, segundo Wu *et al*. (2016) são recursos de entrada que não apenas são empregados pelo primeiro e segundo estágios, mas também apresentam a propriedade de que a proporção usada por cada estágio não pode ser convenientemente dividida e alocada para as operações dos dois estágios. Processos de dois estágios geralmente possuem saídas intermediárias indesejáveis, que normalmente são consideradas saídas finais irrecuperáveis (WU *et al.*, 2016).

Ferramentas e métodos de modelagem de negócios foram debatidos por Antikainen e Valkokari (2016). Segundo os autores, os métodos e ferramentas até então são carentes de alguns elementos identificados como necessários para modelos de negócios em EC. Em virtude disso, seu trabalho contribui com a construção de uma estrutura inovadora de modelo de negócios circular e sustentável, acrescentando perspectivas importantes, tais como: reconhecimento de tendências e direcionadores no nível do ecossistema; compreensão do valor para parceiros e partes interessadas dentro de um negócio; e avaliação do impacto da sustentabilidade e da circularidade.

Para Hobson e Lynch (2016), programas e políticas para uma Economia Circular estão se tornando cruciais para planos regionais e internacionais de sustentabilidade, pois compreendida em uma visão tecnologicamente orientada e economicamente rentável de crescimento contínuo em um mundo de recursos finitos, a EC tem sido adotada pela Comissão Europeia e pelos líderes globais de negócios. Porém, segundo os autores, dentro dos debates acerca desse novo paradigma, pouco se fala sobre as implicações sociais e políticas de tais agendas transformadoras. Os autores destacaram sua incapacidade em abordar muitos desafios profundamente enraizados em torno de questões de consumo e consumidor.

As implicações sociais da implementação da EC, da mesma forma que Hobson e Lynch (2016), são levantadas também por Murray *et al*. (2017). Em seus trabalhos, os autores defendem que embora a EC enfatize o redesenho de processos e o ciclo de materiais, representando a tentativa mais recente de conceituar a integração da atividade econômica e do bem-estar ambiental de forma sustentável o que pode contribuir para modelos de negócios mais sustentáveis, ele também encapsula determinadas tensões e limitações, pois há ausência da dimensão social inerente ao desenvolvimento sustentável que limita suas dimensões éticas e algumas consequências não intencionais (MURRAY *et al*., 2017). Este fato conduziu os autores a proporem uma definição revisada da EC como "um modelo econômico em que planejamento, recursos, aquisição, produção e reprocessamento são projetados e gerenciados, tanto como processo quanto como produto, para maximizar o funcionamento do ecossistema e o bem-estar humano".

Apesar de a EC vir conquistando crescente destaque entre acadêmicos, profissionais e círculos de políticas e ainda estar relacionada a economias que visam desenvolvimento sustentável (GENG; DOBERSTEIN, 2010; MILLAR *et al*., 2019), segundo Nicky *et al*. (2015), a ideia é mais frequentemente celebrada do que criticamente investigada, pelo fato de que sua formulação ideal circula exemplificada pela SI, tal qual Geng e Doberstein (2008), Zhu *et al*. (2011), Xi *et al*. (2011) e Dong *et al*. (2013). No entanto, sua real promulgação é limitada e frágil, pois as EC´s são alcançadas principalmente por meio de redes globais de reciclagem, que são o principal meio pelo qual os resíduos são recuperados como recursos.

Porém, os processos de reciclagem atuais são tipicamente ciclos que reduzem a utilidade dos materiais ao seu nível mais baixo de nutrientes (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018) e de acordo com o Segundo Princípio da EC, os produtos devem ser arquitetados para a remanufatura ou reforma, indo para a reciclagem apenas em último caso (*ELLEN MCARTHUR FOUNDATION*, 2018). Em conformidade com esta perspectiva, Andrews (2015) propõe que os *designers* serão cruciais para o desenvolvimento deste novo modelo econômico.

Não apenas os *designers* possuem importância para o sucesso da EC, pois para Hazen *et al*. (2017) os consumidores precisam não apenas devolver produtos após o uso, mas também adquirir produtos remanufaturados. O grande problema é que, de acordo com os resultados de seu trabalho, observou-se que os consumidores não possuem uma boa opinião sobre produtos remanufaturados e, em geral, não são dispostos a adquiri-los. Dessa forma, o desenvolvimento da EC depende de uma compreensão mais profunda das atitudes e comportamentos, principalmente dos consumidores, recaindo sobre as adversidades sociais sugeridas por Hobson e Lynch (2016) e Murray *et al*. (2017).

De acordo com Linder e Williander (2017), modelos comerciais circulares baseados em remanufatura e reutilização prometem economias de custo significativas, bem como reduções radicais no impacto ambiental. Porém, apesar de variantes de tais modelos de negócios terem sido sugeridas há décadas, ainda assim não existe uma adoção generalizada na indústria. Tal fato se dá em razão de que os modelos de negócios circulares implicam desafios significativos para a redução da incerteza para o empreendedor, pois consoante os autores. Um modelo de negócio circular sempre possui maior risco de mercado do que um modelo equivalente de negócio linear, corroborando a necessidade de ferramentas de modelos de negócios circulares debatidas por Antikainen e Valkokari (2016).

Despeisse *et al*. (2017) analisaram especificamente as áreas de *design*, cadeias de suprimento, fluxos de informação, empreendedorismo, educação e assim como Antikainen e

Valkokari (2016), examinaram modelos de negócios com o intuito de atingir seu potencial máximo para uma EC para modelos de impressão 3D (3DP – *Three Dimension Printing*) determinando facilitadores e barreiras. As características do 3DP alinham-se bem com os princípios de sustentabilidade e circularidade e são uma promessa significativa para a movimentação da sociedade em uma direção mais sustentável. No entanto de acordo com os autores, tal como visto em Nicky *et al*. (2015), a compreensão da extensão total do impacto da 3DP na sociedade ainda é limitada.

O conceito de EC é sistematizado e definido por Korhonen *et al*. (2018) sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável. Segundo os autores, a importância da EC, como visto também em Geng e Doberstein (2010) e em Millar *et al*. (2019) consiste em seu poder de atrair tanto a comunidade de negócios quanto a comunidade de elaboração de políticas para o trabalho de sustentabilidade. Os autores frisam a necessidade de pesquisas científicas para garantir que os impactos ambientais reais da EC possam seguir em direção à sustentabilidade, pois o conteúdo científico, segundo os autores, em concordância com Deispesse *et al*. (2017) e Nicky *et al*. (2015), em respeito à concepção de EC é superficial e desorganizado, parecendo ser uma coleção de ideias vagas e separadas de vários campos e conceitos.

Por fim, como concluído por Bacovis (2019), é evidente que a EC apenas se tornará possível a partir de profusas atitudes por parte do poder público, tais como a promulgação de políticas públicas para implementação de práticas sustentáveis mais eficientes, além da transfiguração de atitudes e aumento de responsabilidade por parte das empresas e da sociedade. Também, requer novos modelos de negócios inovadores, mudando a forma de produzir e consumir os produtos, tal e qual o modelo *Product Service System*.

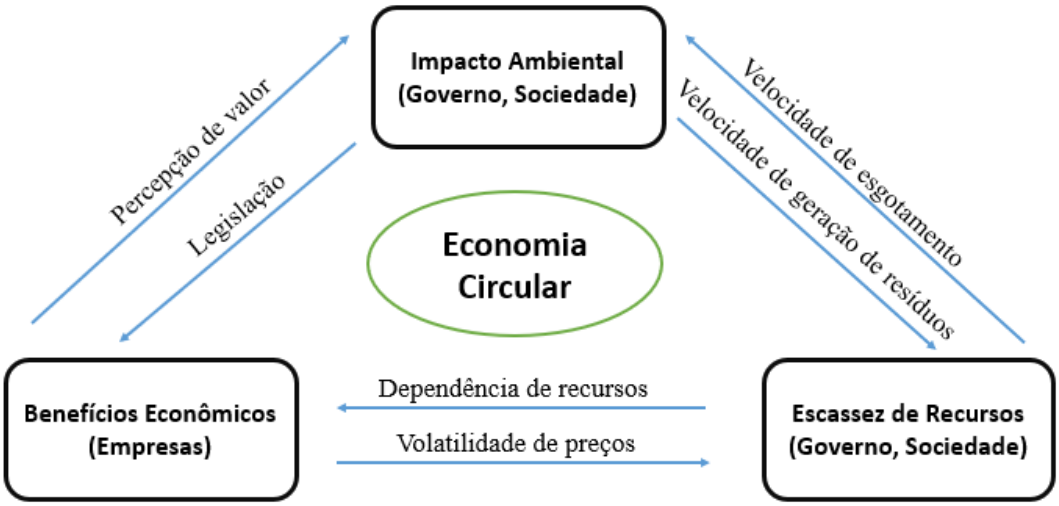
Indicadores de Economia Circular

Ultimamente os indicadores que, em algum nível descrevem a Economia Circular têm despertado interesse considerável, porém como visto em Banaite e Tamosiuniene (2016) não há um sortimento numeroso de pesquisas conceituais e empíricas acerca do desenvolvimento de indicadores, fazendo com que os países e instituições não disponham de ferramentas adequadas para medir a EC a nível macro.

De acordo com Petrenko *et al* (2016), as medidas de EC devem ser baseadas nos 3 princípios básicos da Economia Circular, conhecidos como os 3R´s: reduzir, reutilizar e reciclar, objetivando otimizar a produção com menor consumo de recursos, minimizando poluições e emissões de resíduos.

Lieder e Raschid (2016) consideram a EC baseada em três *stakeholders* - empresas, sociedade e governo – e os indicadores desejáveis devem satisfazer as demandas de cada um deles. A Figura 6 ilustra as necessidades dos stakeholders e como se relacionam.

Figura 6: *Stakeholders* da Economia Circular e suas necessidades



Fonte: Adaptado de Lieder e Raschid (2016)

A Figura 6 aborda a EC sob três perspectivas e como elas se relacionam: impacto ambiental, escassez de recursos e benefícios econômicos e para cada perspectiva, há um stakeholder que possui sua demanda particular e para a criação de um modelo abrangente de indicadores de EC, todas as partes interessadas devem ter suas necessidades a seguir satisfeitas.

Os benefícios econômicos na EC implicam que cada empresa individual se esforça para obter benefícios econômicos de forma que garanta lucratividade e competitividade. Isso requer uma abordagem integrativa desde a seleção de modelos de negócios e *design* de produto até o *design* da cadeia de suprimentos e escolha de materiais.

A escassez de recursos na EC, de acordo com Lieder e Raschid (2016) depende do suprimento de recursos finitos do planeta. Faz com que seja obrigatório o uso regenerativo dos recursos e os principais fatores neste contexto prendem-se com a circularidade dos recursos, a criticidade dos materiais e a volatilidade dos recursos face ao aumento global do número de atividades industriais.

Impacto ambiental na EC significa que o estado desejável das nações e órgãos governamentais é uma sociedade com impactos ambientais mínimos, pois a EC é um esforço para reduzir resíduos sólidos, aterros e emissões por meio de atividades como reutilização, remanufatura e/ou reciclagem (LIEDER; RASHID, 2016).

Em relação a indicadores a nível macro, Banaite e Tamosiuniene (2016) listam os indicadores que podem dar uma perspectiva mais ampla da EC para países, conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Indicadores macro de acordo com Banaite e Tamosiuniene (2016)

Indicadores ambientais	**Indicadores Econômicos e Sociais**
Cobertura de rede de reciclagem	PIB per capita
Valoração de resíduos emitidos	Taxa de desemprego
Tratamento de poluição industrial	Taxa de crescimento do PIB
Tratamento de resíduos domésticos	Expectativa de vida
Área de espaço urbano verde per capita	
Cobertura de florestas	

Fonte: autor

Os indicadores ambientais dão uma perspectiva mais ampla sobre as políticas ambientais dos países, como cobertura da rede de reciclagem de recursos, valor dos resíduos emitidos, investimento no tratamento da poluição industrial e resíduos domésticos de água e lixo, área de espaço verde público urbano per capita, florestas cobertura.

Os indicadores de aspectos econômicos e sociais, segundo Banaite e Tamosiuniene (2016) devem expressar a maneira como os países enriquecem; dessa forma os indicadores geralmente usados são PIB *per capita*, taxa de desemprego, crescimento do PIB, expectativa de vida.

Apesar de tais indicadores, de alguma forma, expressarem eficiência em algumas áreas que a EC prioriza, alguns deles, se analisados separadamente nada dizem a respeito de circularidade ou ainda sustentabilidade. Uma baixa taxa de desemprego, apesar de altamente desejável nada diz a respeito da sustentabilidade ou da Economia Circular, assim como o PIB *per capita.*

Dessa forma, Banaite e Tamosiuniene (2016) apontam para a avaliação integrativa sobre o desenvolvimento da Economia Circular, que segundo os autores é baseada em cinco aspectos - desenvolvimento social e econômico, eficiência de recursos, reciclagem e reutilização de recursos, proteção ao meio ambiente, redução da poluição. Esses indicadores dão ampla perspectiva e percepção sobre a EC em nível macro, também refletem melhor a indústria, os níveis municipal e nacional.

Segundo De Pascale et al. (2021), os indicadores de EC são cada vez mais reconhecidos como uma ferramenta útil para apoiar o desenvolvimento de políticas na disponibilização de informação, reduzindo as pressões e impactos ambientais por meio de um processo de reciclagem circular. Em seu trabalho forneceu uma visão geral dos indicadores de EC existentes, a Tabela 3 apresenta cada um dos indicadores a nível macro reunidos em seu trabalho.

De um total de 61 indicadores de EC reunidos em De Pascale *et al*. (2021), 14 indicadores foram considerados a nível macro, porém desses 14, apenas 6 foram realmente aplicados a nível nacional, sob uma amostra de tamanho considerável.

Tabela 3: Indicadores de Economia Circular a nível macro segundo De Pascale *et al*. (2021)

Indicador Macro	Abrangência	Ano	Autor (es)	País	Princípios
Análise de fluxo de materiais (MFA) e contabilidade em nível macro	Nível Nacional	2007	Pinter (2006); Moriguchi (2007)	União Europeia, EUA e Japão	R1; R2; R3
Análise integrada em várias escalas do metabolismo social	30 regiões chinesas	2011	Geng (2011)	China	R1
O Sistema Nacional Chinês de Indicadores de Avaliação CE	China	2012	Geng *et al*. (2012)	China	R1; R2; R3
Modelo DEA de supereficiência	30 regiões chinesas	2014	Wu *et al*. (2014)	China	R1; R2; R3
Indicadores de circularidade baseados na abordagem MFA	27 países europeus	2015	Haas *et al*. (2015)	União Europeia	R1; R2; R3
Estabelecimento de ferramentas de monitoramento de fluxos de materiais em um EC no nível macro	28 países europeus	2018	Mayer *et al*. (2018)	União Europeia	R1; R2; R3

Fonte: autor

Analisando a Tabela 3 percebe-se que a foram aplicados em sua maioria na China e União Europeia. Em relação aos princípios da EC (3R), todos abrangeram os 3R (reduzir, reutilizar e reciclar), com exceção do trabalho de Geng (2011) que é baseado apenas no princípio de redução (R1).

Em termos de sustentabilidade, todos os indicadores, segundo os autores abordaram princípios econômicos, sociais e ambientais.

2.4 Sustentabilidade, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Economia Circular

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura sobre Sustentabilidade, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e sua ligação com Economia Circular. O objetivo, portanto, é estabelecer de teórica as relações entre Economia Circular e Sustentabilidade, representada aqui por Objetivos de Sustentabilidade, que segundo Schroeder *et al*. (2019) são afetados por práticas circulares dada a relação direta existente entre tais práticas e determinados alvos.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável compõem um total de 17 Objetivos, com 169 metas associadas, consideradas integradas e indivisíveis, nas quais as lideranças mundiais se comprometeram através de um esforço comum por meio de políticas a implementar, respeitando a soberania plena dos países sobre seus recursos naturais, atividade econômica e riqueza, sendo uma estratégia interligada para a promoção de práticas e soluções sustentáveis que abordam os principais problemas enfrentados pela nossa sociedade (THALES *et al*., 2021).

A seguir, a Figura 7 retrata a representação universal dos 17 Objetivos de Sustentabilidade, tal representação gráfica é padronizada, e exceto pelo idioma, seus ícones mantém o mesmo *layout* tanto em relação à representação gráfica quanto em relação às cores.

Figura 7: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Fonte: Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável

De acordo com a Figura 7, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, os 17 Objetivos são especificados da seguinte forma:

1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;

2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;

3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;

4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;

5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;

6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos;

7. Assegurar a todos o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia;

8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos;

9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;

10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles;

11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;

12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;

13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos;

14. Conservar e usar sustentavelmente os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;

15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade;

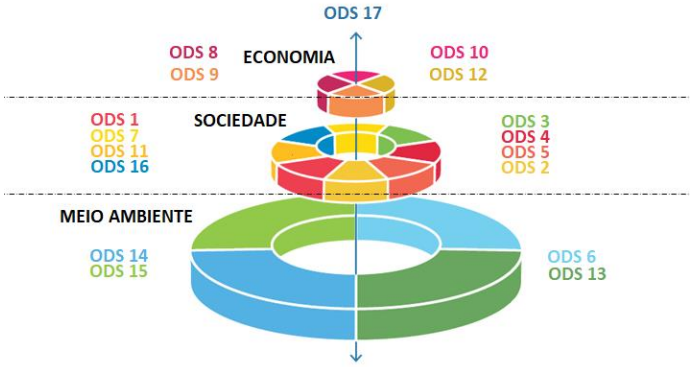
16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;

17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Rockström e Sukhdev (2016) atentaram para a importância de uma nova maneira de abordar os aspectos econômicos, sociais e ecológicos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), argumentando que todos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estão direta ou indiretamente ligados à alimentação sustentável e saudável, e as economias e as sociedades devem ser vistas como partes incorporadas da biosfera. Essa abordagem destoa da atual abordagem setorial, em que o desenvolvimento social, econômico e ambiental é visto

como partes separadas. A Figura 8 ilustra a abordagem interligada dos ODS. Tal perspectiva aponta para uma interpretação conjunta dos ODS, sugerindo a existência de sinergias e a impossibilidade de tratar separadamente os Objetivos.

Figura 8: Abordagem interligada dos Objetivos de Sustentabilidade



FONTE: Adaptado de Rockström e Sukhdev (2016)

A interpretação sugerida por Rockström e Sukhdev (2016), como ilustrado pela Figura 10, além de sugerir a compreensão conjunta de todos os ODS, propõe que a coleção dos ODS culmina no alcance do Objetivo 17, que consiste em "parcerias para as metas", que tem como propósito “fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável” (FRANCO e MASATO, 2020).

Paralelamente aos Objetivos de Sustentabilidade, o conceito de Economia Circular surge em contraponto ao modelo de produção e consumo tradicional, denominado Linear, a Economia Circular (EC) surgiu como um modelo que busca manter os produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade pelo maior tempo possível dentro de seu ciclo de vida econômico (GHISELLINI *et al*. 2016; KIRCHHERR *et al*. 2017; PADILLA-RIVERA *et al*. 2021).

De acordo com Abramovay (2014), os modelos lineares de produção e consumo estão no limiar de atingir sua suficiência, pois consistem em extrair e processar insumos da natureza para satisfazer as necessidades dos consumidores e, ao final de seu ciclo de vida, os produtos são descartados na forma de rejeitos.

Destacando a ligação entre Economia Circular e Sustentabilidade, Geng *et al*. (2012) apresentam como a China detém grandes oportunidades para o desenvolvimento de novos

sistemas de Indicadores Ambientais, estes úteis e por que não dizer necessários para a mensuração e gestão da EC tendo em vista a política nacional daquele país nos esforços de modernização ecológica, crescimento verde e desenvolvimento de baixo carbono.

Sob essa perspectiva, entende-se que a essência da EC é preservar os recursos naturais e manter a qualidade e o valor dos produtos e suas partes da forma mais eficiente quanto possível, pelo maior período de tempo praticável. E a passagem do modo linear para o circular ocorre a partir da atenuação da extração de recursos naturais e consequente redução de rejeitos, como resultado do reaproveitamento e reciclagem de materiais para manter a satisfação das necessidades de consumo dos agentes econômicos (PBL - Agência de Avaliação Ambiental Holandesa, 2017; Geisendorf e Pietrulla, 2017).

Não obstante a Sustentabilidade e a Economia Circular estejam granjeando crescente monta dentre trabalhos acadêmicos (Geng e Doberstein, 2010; Millar *et al*., 2019), no ambiente corporativo e entre os formuladores de políticas, as semelhanças e diferenças entre os dois conceitos ainda permanecem ambíguas. A relação entre os conceitos não é explicitada na literatura, o que acaba por causar confusões interpretativas de seus contornos conceituais e limita a eficácia do uso das abordagens na pesquisa e na prática (GEISSDOERFER *et al*. 2017).

Segundo Kirchherr *et al*. (2017) o principal objetivo da Economia Circular é considerado como sendo a prosperidade econômica, assistida pela qualidade ambiental; e sua resultância na equidade social e nas gerações futuras é pouco mencionado, frisando ainda que as definições mostram poucas ligações explícitas do conceito de Economia Circular ao Desenvolvimento Sustentável.

Sob a mesma perspectiva, Ghisellini *et al*. (2016) atestaram que a adoção de padrões de produção em ciclo fechado, dentro de um sistema econômico circular, visa aumentar a eficiência do uso de recursos, com foco especial nos resíduos urbanos e industriais, para atingir um mais adequado nível de equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade.

Além disso, apesar da frequente e comum associação da Economia Circular com a Sustentabilidade, a maioria das práticas da Economia Circular ainda necessitam fundamentos sobre como realmente contribuir para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e os aspectos sociais em particular (WALKER *et al*. 2021).

Schroeder *et al*. (2019), por intermédio de uma revisão de literatura e exercício de correspondência para identificar a existência da relação entre as práticas de EC e as metas dos ODS concluíram que as práticas de EC, potencialmente, podem contribuir diretamente para alcançar um número significativo de metas dos ODS. Embora o trabalho se trate apenas de uma revisão narrativa da literatura, ele identifica a existência de profundas relações entre as práticas

de EC e determinados ODS. A é pauta composta pelas metas do ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento), ODS 12 (Consumo e Produção Responsável) e ODS 15 (Vida na Terra), e ainda aponta que mais pesquisas empíricas são necessárias para determinar quais tipos específicos de parcerias e meios de implementação são necessários para aplicar as práticas de EC no ODS contexto.

Em harmonia com o Desenvolvimento Sustentável, a Economia Circular visa gerar uma transmutação geral do sistema para uma forma mais responsável e eficiente de gerir os recursos naturais e tecnológicos. No entanto, embora pareça que a EC proporciona abordagens para o desenvolvimento que atendam aos critérios do SD (pelo menos permitindo atividade econômica que é indiscutivelmente menos intensiva em materiais e energia do que alternativas não circulares), a relação conceitual entre EC e SD permanece incerta (Schöggl *et al*. 2020).

Novamente citando Korhonen *et al*. (2018), em sua afirmação de que apesar do conteúdo científico e de pesquisa dos conceitos de EC serem, de acordo com os autores, de característica superficial e desorganizada pelo fato de afigurar ser um acervo de ideias vagas e separadas de vários campos e conceitos "semi-científicos", atualmente é um conceito popular promovido pela União Europeia, por vários governos nacionais e por muitas empresas no mundo.

Porém, anteriormente Murray *et al*. (2017) reiteraram que a Economia Circular representa a mais recente tentativa de conceituar a integração da atividade econômica e bem-estar ambiental de forma sustentável e constata que a Economia Circular coloca ênfase no redesenho de processos e ciclagem de materiais, o que pode coadjuvar para mais modelos de negócios sustentáveis.

A literatura aponta como fator determinante o apoio de acadêmicos, formuladores de políticas e empresas ao conceito de EC, sob a forma de um modelo alternativo que provê capacidade para alcançar padrões de produção e consumo que impliquem impacto ambiental insignificante, ao mesmo tempo em que estimula o crescimento econômico (MILLAR *et al*., 2019); (GENG; DOBERSTEIN, 2010).

Com sua revisão de literatura, Schroeder *et al*. (2019) descobrem que sinergias podem ser geradas entre práticas de EC e várias das metas dos ODS; além disso, identifica vários *trade-offs* potenciais entre metas de trabalho decente, ambientes de trabalho seguros, saúde humana e práticas atuais de EC relacionadas à reciclagem de resíduos, lixo eletrônico e águas residuais, e conclui ainda que as práticas de EC podem ser aplicadas como uma "caixa de ferramentas" e abordagens de implementação específicas para alcançar um número considerável de metas dos ODS.

De acordo com Ogunmakinde *et al*. (2022) a Economia Circular continuou a ganhar tração positiva como uma solução potencial para alcançar o desenvolvimento sustentável, e um tema-chave que surgiu foi que uma compreensão e exploração dos vínculos ODS-Economia Circular aumentam a competitividade, estimula a inovação e impulsiona o crescimento econômico.

Bai *et al* (2022) afirma que a Economia Circular pode representar uma abordagem eficaz para integrar tecnologias da indústria 4.0 em práticas e negócios para melhorar a sustentabilidade e, assim como Ogunmakinde *et al*. (2022), que conectou os conceitos de Economia Circular e Objetivos de Sustentabilidade, conclui que as práticas de EC são um elo crítico na conexão entre tecnologias da Indústria 4.0 e o alcance dos ODS.

A transição para Economia Circular não apenas reduz os impactos negativos da economia linear. Em vez disso, para Dong *et al*. (2021), a Economia Circular representa uma mudança sistêmica que gera oportunidades de negócios e econômicas, cria benefícios ambientais e sociais e cria resiliência de longo prazo para os ambientes econômicos.

Cabe ainda destacar que, a ideia é mais frequentemente celebrada do que criticamente investigada, devido ao fato de que circula sua formulação ideal, exemplificada pela Simbiose Industrial, como Geng e Doberstein (2008), Zhu *et al*. (2011), Xi *et al*. (2011) e Dong *et al*. (2013). No entanto, até então, sua atuação era limitada e frágil, pois as circularidades, de acordo com tais autores são projetadas principalmente por meio de redes globais, que são reivindicadas como o principal meio pelo qual os recursos são reciclados.

Sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável, o conceito de EC é sistematizado e definido por Korhonen *et al*. (2018). Segundo os autores, novamente a importância da EC, como também visto em Geng e Doberstein (2008) e em Millar *et al*. (2019) consiste em seu poder de atrair tanto a comunidade empresarial quanto a comunidade formuladora de políticas para o trabalho de sustentabilidade. E enfatizar a necessidade de pesquisas científicas para garantir que os reais impactos ambientais da CE possam caminhar para a sustentabilidade, pois como dito anteriormente e concordando com a afirmação de Deispesse *et al*. (2017) a respeito do conceito de EC, ele ainda é superficial e desorganizado, e pode ainda aparentar ser um conjunto de ideias vagas e separadas de vários campos e conceitos.

Segundo Goyal *et al*. (2018) o modelo circular está impulsionando as empresas em economias em desenvolvimento a projetar e implementar modelos de negócios com base em seus princípios e práticas, com foco no alinhamento e gerenciamento cuidadosos de fluxos de recursos em toda a cadeia de valor, integrando logística reversa, inovação em *design*, ecossistema colaborativo, e inovação do modelo de negócios. Isso ocorre pelo fato de o modelo

econômico linear estar afetando a sustentabilidade dos países, bem como afetando a cadeia global de suprimentos levando a riscos socioeconômicos e ambientais e volatilidade pelo fato do desafio da escassez de recursos.

Sobre as implicações sociais da implementação da EC, Hobson e Lynch (2016) e Murray *et al*. (2017) argumentam que embora a EC enfatize o redesenho de processos e do ciclo de materiais, representando a mais recente tentativa de conceituar a integração da atividade econômica e o bem-estar ambiental de forma sustentável, o que pode contribuir para modelos de negócios mais sustentáveis, também encapsula certas tensões e limitações.

De fato, a literatura aponta uma lacuna na relação entre Economia Circular e temas sociais, razão pela qual permanece obscura tal associação (Schöggl *et al*. 2020), embora Padilla-Rivera *et al*. (2021) apresentem uma abordagem para identificar os principais indicadores sociais de EC e evidenciem que os indicadores sociais mais relevantes para especialistas em EC são saúde e segurança do consumidor, seguidos por pobreza, segurança alimentar e governança. Esses achados sugerem que indicadores como a erradicação da pobreza e da fome são prioridades para os especialistas em EC. Isso pode ser atribuído ao poder das práticas de EC em auxiliar a alcançar várias metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente aqueles que estão mais diretamente relacionados às estratégias de EC.

Portanto, até aqui faz-se útil e interessante estabelecer de maneira empírica e quantitativa a relação existente entre EC e sustentabilidade, de modo que fique claro se há a relação entre os dois temas e caso tal associação se verifique, deixar explícito que a Economia Circular pode ser uma ferramenta útil para se atingir o desenvolvimento sustentável em todas as suas dimensões.

3. MÉTODO

Como apresentado na seção referente, o objetivo do presente trabalho é avaliar a relação entre Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 1) e, a partir disso, desenvolver um Indicador composto de Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 2) capaz de prover um *ranking* de países ou regiões.

Para alcançar o objetivo deste trabalho foram definidos, previamente, alguns passos e algumas estratégias, que em conjunto constituem o método, que será discutido a partir de agora.

Este capítulo além de apresentar as delimitações espacial e temporal, contemplará os passos de procedimentos e técnicas adotadas para a realização desse trabalho.

3.1 Delimitação Espacial

A delimitação espacial de uma pesquisa diz respeito à restrição da área que será investigada, que é importante para definir o espaço onde ocorrerá a investigação. Com base nessa consideração, faz-se necessário apresentar o objeto de estudo do presente trabalho constituído pelos países pertencentes à União Europeia.

A escolha desse grupo de países não foi aleatória, pois a União Europeia reúne atualmente 27 países, que se comprometeram a partir do *First Circular Economy Action Plan*, no ano de 2015 a assumir 54 ações/medidas para estimular a transição da Europa para uma Economia Circular, promover crescimento econômico sustentável e gerar novos empregos (UE,2022). As medidas abrangem o ciclo de vida – da produção e consumo à gestão de resíduos – passando pelo mercado de matérias-primas secundárias.

Diante deste contexto de compromisso com a circularidade e sustentabilidade aliada a crescimento econômico e geração de empregos, evidenciou-se a importância de uma ferramenta que leve em consideração todos os aspectos em voga, se configurando na principal justificativa para a escolha desse grupo de países para fazer parte da análise proposta no presente trabalho.

3.2 Delimitação temporal

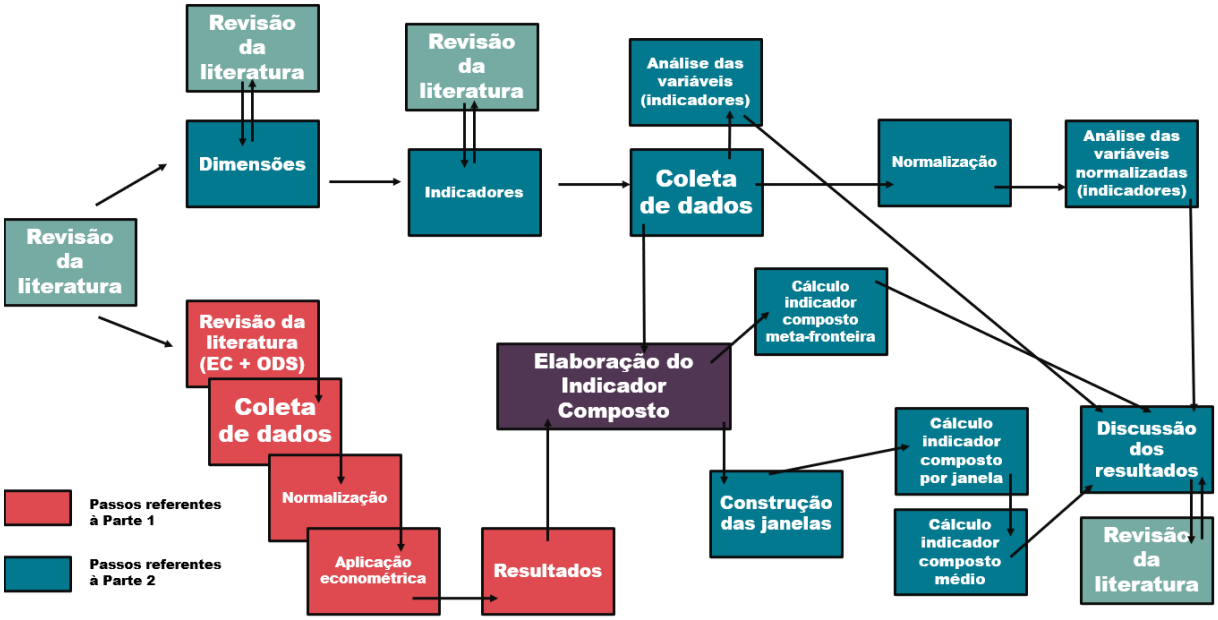
A delimitação temporal diz respeito ao intervalo de tempo ao qual o estudo submete suas análises. Para situar a investigação e ao mesmo tempo atender às exigências de natureza metodológica, a coleta, subsequente análise dos dados e aplicação dos modelos estatísticos e matemáticos contemplou o período de 2011 (inclusive) a 2018 (inclusive). O critério utilizado para o estabelecimento desse intervalo de tempo foi a intersecção da disponibilidade de dados necessários para a pesquisa.

3.3 Passos de procedimentos

Nesta seção são apresentados os passos de procedimentos para alcançar o objetivo proposto, em duas partes, e as fundamentações teóricas das ferramentas utilizadas e seus

conceitos, vantagens e limitações. A Figura 9 ilustra os passos de procedimentos realizados em cada uma delas.

Figura 9: Passos de procedimentos



Fonte: Elaborada pelo autor

A etapa inicial da pesquisa consistiu na busca por publicações na base de dados *Web of Science*® com o objetivo de fornecer base teórica para a elaboração do trabalho proposto por meio do desenvolvimento dos conceitos principais, identificar *gaps* teóricos e justificar a importância do trabalho e de seu método utilizado. Os temas pesquisados foram Economia Circular, Índices Compostos, Análise Envoltória de Dados e Modelagem BoD-DEA. Os temas de Economia Circular e Índices Compostos obedeceram aos rigores descritos nas seções de Bibliometria contidos no capítulo de Fundamentação Teórica. Paralelamente às buscas, procurou-se ilustrar o atual cenário acadêmico das áreas e seu desenvolvimento ao longo dos anos. Esta primeira etapa evidenciou a necessidade de desenvolvimento de conhecimento, para que as bases teóricas da escolha das dimensões do indicador composto sejam melhor consolidadas. A seguir, são apresentados os passos de procedimentos realizados para se atingir a primeira meta (Analisar a relação entre Economia Circular e Sustentabilidade).

Passos de procedimentos para estabelecer a relação entre Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 1)

O primeiro passo de procedimento realizado foi a realização de nova revisão da literatura. Foram pesquisados nas bases de dados, trabalhos com os seguintes temas em intersecção com Economia Circular: Sustentabilidade, Desenvolvimento Sustentável e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Da mesma forma que para os temas de Economia Circular e Índices Compostos, a revisão da literatura obedeceu aos rigores descritos nas seções de Bibliometria contidos no capítulo de Fundamentação Teórica.

O segundo passo desse segmento do trabalho foi a coleta de dados. Foram extraídos dados compreendidos no período estabelecido na seção de delimitação temporal de variáveis que representassem cada um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável citados por Schroeder *et al.* (2019), variáveis representativas de Economia Circular e variáveis de controle. Os dados coletados foram posteriormente normalizados entre 0 (menor valor) e 1 (maior valor).

Por fim, os modelos econométricos foram aplicados e seus resultados foram apresentados e discutidos. Os resultados apurados durante essa etapa do trabalho serviram de alicerce para a construção do indicador composto de economia circular e sustentabilidade, principal objetivo do presente trabalho.

Passos de procedimentos para desenvolver o Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade (Parte 2)

A primeira etapa desta seção do trabalho consistiu na identificação das dimensões do IC e sua ilustração. A importância dessa etapa está baseada na teoria acerca da confecção de Indicadores Compostos, que devem refletir diferentes dimensões para retratar de forma mais fiel quanto possível a realidade que se queira representar por intermédio do IC. Os trabalhos foram organizados de acordo com sua abordagem, e cada abordagem significou uma dimensão para esta pesquisa.

A segunda etapa se referiu ao exercício de encontrar indicadores (variáveis) na literatura de Economia Circular que permitam retratar de forma satisfatória cada uma das dimensões que compõem o IC. Tais indicadores (variáveis) são considerados de acordo com sua abordagem em publicações que sugerem sua aplicação na prática ou ainda trabalhos que, de alguma forma, os tenham aplicado em seus estudos. Essas variáveis, denominadas indicadores, ou subindicadores, são agrupados em conjuntos que representam as dimensões.

A terceira etapa é composta pela coleta de dados. A busca por informações quantitativas referentes a cada indicador foi realizada em portais de dados estatísticos e sua coleta foi organizada e padronizada para a aplicação de métodos matemáticos e estatísticos necessários para a realização do trabalho. A etapa consiste na elaboração teórica do Indicador Composto, com o detalhamento e ilustração de suas respectivas dimensões e subindicadores. Depois de coletados os dados, foram aplicadas ferramentas de estatística para a análise dos dados em sua natureza bruta, sem qualquer tipo de tratamento estatístico ou matemático.

A quarta consistiu na normalização dos valores das variáveis/subindicadores coletados entre 0 e 1. Após a normalização dos dados, estes foram analisados tal qual foram em sua forma bruta, exercício útil para justificar a escolha em se trabalhar com dados normalizados.

A quinta etapa consistiu na construção das janelas de análise. A Análise Envoltória de Dados é aplicada de forma que cada país em cada ano seja considerado como sendo uma unidade distinta de análise. Isso para uma ótica dinâmica, que considere uma movimentação temporal durante a análise, é utilizada a formação de janelas de tempo para a análise. Para cada janela subsequente, são incluídos dados do ano mais recente ao passo que são retirados os dados do ano mais defasado.

E Por fim, a sexta e última etapa consistiu na apresentação dos cálculos para o indicador composto proposto. No total foram calculados três modelos: metafronteira, análise de janelas e indicador médio das janelas.

O modelo metafronteira consiste em aplicar o modelo em todo o conjunto de dados, em todos os países e todos os anos, e depois apurar o resultado médio de cada país. A análise de janelas consiste em aplicar o modelo para cada janela, e por fim o indicador médio das janelas consiste em obter o valor médio para cada país nas janelas, conforme Equação 1.

$$ICM_j = {(\sum_{i=1}^{n} IC_1, IC_2, \dots, IC_n)}/{n} \qquad (1)$$

Onde:

ICM_j é o Indicador Composto Médio das janelas;

IC_n é cada um dos Indicadores Compostos calculados em cada janela;

n é o número de janelas calculadas.

Após o cálculo dos Indicadores citados (janelas, médio e meta-fronteira), os resultados são apresentados e discutidos. Onde os países com maior colocação no ranking criado são

avaliados individualmente e ao final é apresentada uma breve comparação dos indicadores disponíveis na literatura com o proposto pelo presente trabalho.

3.4 Ferramentas de Análise

Econometria: Dados em painel

A econometria consiste na aplicação da estatística matemática a dados socioeconômicos para dar suporte empírico aos modelos formulados pela economia matemática e obter resultados numéricos (GUAJARATI; PORTER, 2011).

Há três tipos de dados, que em geral são utilizados nas análises: dados *cross-section*, séries temporais, e painéis. Nas séries temporais, observamos os valores de uma ou mais variáveis em um período de tempo; nos dados *cross-section*, coletam-se dados relativos a uma ou mais variáveis para várias unidades ou entidades amostrais no mesmo período, e por fim, nos dados em painel, a mesma unidade de corte transversal é acompanhada ao longo do tempo, isto é, os dados em painel têm uma dimensão espacial e outra temporal (GUJARATI; PORTER, 2011).

De acordo com Greene (2008), conjuntos de dados que combinam séries temporais e cortes transversais são comuns em estudos socioeconômicos pois contém numerosas observações contempladas em vários pontos no tempo, podendo ser dados de empresas, estados, países ou industrias.

No entanto, as modelagens sob essa configuração exigem algumas especificações, pois os efeitos do tempo são frequentemente vistos como “transições” ou mudanças discretas de estado que são modelados como específicos para o período em que ocorrem e não são transportados entre períodos dentro de uma unidade de seção transversal.

A heterogeneidade entre as unidades é parte integrante e muitas vezes o foco central da análise dos dados em painel, que em seu formato mais típico é caracterizado por possuir um grande número de unidades transversais e apenas alguns períodos. Dessa forma, os métodos de séries temporais podem apresentar problemas. Os modelos mais adequados para esses conjuntos de dados curtos e amplos valem-se de técnicas que são focadas na heterogeneidade individual das entidades do painel (GREENE, 2008).

A estrutura básica para esta discussão é um modelo de regressão (sem incluir o intercepto) representado pela Equação (2).

$$y_{it} = x'_{it}\beta + z'_i\alpha + \varepsilon_{it} \qquad (2)$$

Onde a heterogeneidade, é representada por $z'_i\alpha$ em que z_i contém um termo constante e um conjunto de variáveis consideradas específicas do grupo todas as quais são considerados constantes ao longo do tempo t. Caso z_i for observado para todos os indivíduos, então todo o modelo pode ser tratado como um modelo linear comum e ajustado por mínimos quadrados ordinários. Contudo, essa situação pode ser considerada um caso especial, de modo que a questão da heterogeneidade individual deve ser levada em conta durante a estimação dos modelos de dados em painel, a fim de evitar problemas de inconsistência estatística. Assim, a literatura apresenta basicamente dois tipos de métodos que fazem frente às especificidades da estimação de dados em painel: efeitos fixos e efeitos aleatórios.

Para o caso de Efeitos Fixos: Se z_i não é observado, mas correlacionado com x_{it}, então o estimador de mínimos quadrados de β é tendencioso e inconsistente como consequência de uma variável omitida. Nesse caso, o modelo passa a ser representado pela Equação (3).

$$y_{it} = x'_{it}\beta + \alpha_i + \varepsilon_{it} \qquad (3)$$

Onde $\alpha_i = z'_i\alpha$ incorpora todos os efeitos observáveis e especifica uma média condicional estimável. Essa abordagem de efeitos fixos considera α_i um termo constante específico do grupo no modelo de regressão. Deve-se notar que o termo “fixo” usado aqui indica que o termo não varia ao longo do tempo.

Apesar de levar em conta a heterogeneidade individual, o modelo de efeitos fixos ainda é sujeito a perturbações não esféricas como autocorrelação e heteroscedasticidade, se3ndo necessário um método que contemple tais características. Um método que tem sido amplamente utilizado é a correção de Driscoll and Kraay (1998) para os erros-padrão dos estimadores. Aqui, a estrutura de resíduo da regressão é assumida como heterocedástica e autocorrelacionada, Não obstante, tal correção também é robusta a possível dependência transversal ("espacial") e temporal quando a dimensão temporal restringe o comportamento limitante do número de painéis.

Tal método de correção será empregado neste trabalho tendo em vista que a estrutura de vizinhança e proximidade geográfica dos países europeus pode resultar em algum grau de correlação espacial.

Para o caso de Efeitos Aleatórios: Se a heterogeneidade individual não for observada, esta pode ser assumida não correlacionada com as variáveis incluídas, então o modelo pode ser formulado como na Equação (4) e Equação (5).

$$y_{it} = x'_{it}\beta + E[z'_i\alpha] + \{z'_i\alpha - E[z'_i\alpha]\} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$y_{it} = x'_{it}\beta + \alpha + u_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

Essa abordagem de efeitos aleatórios especifica que u_i é um elemento aleatório específico do grupo, semelhante a ε_{it}, exceto que para cada grupo. Assim, a distinção crucial entre esses dois casos reside na postulação sobre se o efeito individual não observado incorpora elementos que estão correlacionados com os regressores no modelo (GREENE, 2008). Não obstante, o modelo de efeitos aleatórios deve ser estimado por mínimos quadrados generalizados factíveis (GLS – *Generalized Least Squares*), o qual também é capaz de lidar com perturbações não-esféricas.

De fato, este método dá maior peso às observações que se concentram ao redor da média do que às que estão mais afastadas, isto é, as informações com maior variabilidade recebem menor peso que as com menor, sendo, portanto, capaz de produzir estimadores estatisticamente confiáveis, pois na maioria dos casos, a forma exata da heterocedasticidade não é óbvia (WOOLDRIDGE, 2010).

Se a heterocedasticidade é desconhecida, modela-se a função h para esta, utilizando os dados para estimar os parâmetros desconhecidos nesse modelo. Isso resulta em uma estimativa para cada h_i, denotado como $\hat{h_i}$. Utilizando $\hat{h_i}$ ao invés de h_i, produz-se um estimador FGLS. Conforme Wooldridge (2010), assume-se que:

$$Var(u|\boldsymbol{x}) = \sigma^2 exp\ (\delta_0 + \delta_1 x_1 + \delta_2 x_2 + \cdots + \delta_k x_k) \quad (6)$$

Onde x_k são as variáveis independentes e δ_k são os parâmetros desconhecidos, então temos:

$$h(\boldsymbol{x}) = \exp(\delta_0 + \delta_1 x_1 + \delta_2 x_2 + \cdots + \delta_k x_k) \quad (7)$$

Para estimar os δ_0, transforma-se a Equação (6) em formato linear que com simples modificações podem ser estimada pelo modelo clássico de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), como segue:

$$u^2 = \sigma^2 exp\ (\delta_0 + \delta_1 x_1 + \delta_2 x_2 + \cdots + \delta_k x_k) v \qquad (8)$$

Onde v tem a média igual a 1, condição para que $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_k)$, e se assumir que v é dependente de $\boldsymbol{x}$, podemos escrever:

$$\log(u^2) = \alpha_0 + \delta_1 x_1 + \delta_2 x_2 + \cdots + \delta_k x_k + e \qquad (9)$$

Onde e possui média 0 e é dependente de $\boldsymbol{x}$, o intercepto dessa equação é diferente de δ_0, mas esse fato não possui importância estatística. A variável dependente é dada pelo log do quadrado do erro. Dessa forma podemos calcular de forma não viesada os estimadores de δ_j usando MQO. Dessa forma podemos substituir o não observado u pelos resíduos dos MQO. Portanto, aplica-se o seguinte modelo:

$$\log(u^2) \text{ em } x_1, x_2, \ldots, x_k \qquad (10)$$

O que de fato é útil nessa regressão são os chamados valores ajustados, chamados $\hat{g_i}$. Então os estimadores de h_i são dados, simplesmente por:

$$\hat{h_i} = \exp\ (\hat{g_i}) \qquad (11)$$

Então aplica-se Mínimos Quadrados Ponderados com pesos $1/\hat{h_i}$, conforme segue:

$$\sum_{i=1}^{n} (y_i - b_0 - b_1 x_{i1} - b_2 x_{i2} - \ldots - b_k x_{ik})^2 \Big/ \hat{h_i} \qquad (12)$$

Dessa forma o modelo é estimado, ao final, aplicando-se os passos de Mínimos Quadrados Ponderados contornando os problemas provenientes da existência da heterocedasticidade.

Análise Envoltória de Dados

A Análise Envoltória de Dados (DEA) é uma técnica não-paramétrica que emprega programação matemática para construir fronteiras de produção de unidades produtivas, ou seja, *Decision Making Units* – DMUs (unidades tomadoras de decisões), entidades responsáveis por transformar múltiplos *inputs* em múltiplos *outputs* (FUKUYAMA *et al*, 2014; THANASSOULIS; SILVA, 2018), empregando processos tecnológicos semelhantes

De acordo com Fukuyama (2014), na Análise Envoltória de Dados (DEA), a programação matemática é aplicada para observar dados de *input* e *output* não apenas para medir a *performance* de eficiência, mas, também, para prover informações estratégicas para gestores de entidades, como bancos, hospitais, unidades de negócio, etc.

Para Thanassoulis e Silva (2018), DEA é um método que permite comparações em que as unidades a serem analisadas utilizam múltiplos recursos incomensuráveis (*inputs*) para entregar múltiplos incomensuráveis resultados (*outputs*), para produzir um medida do desempenho global,e tem como objetivo primário comparar um certo número de DMU's que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de inputs que consomem e de outputs que produzem (GONÇALVES GOMES, 2008).

As fronteiras construidas pela ferramenta representam a eficiência relativa dos planos de operação executados pelas DMU´s e servem, também, como referência para o estabelecimento de metas eficientes para cada unidade produtiva (PERICO *et al.*, 2008).

Como características básicas, cita-se:

- Não é necessária a conversão das unidades em unidade monetária;

- Os índices de eficiência baseiam-se em dados reais e não em formulações teóricas;

- É uma alternativa e um complemento aos métodos da análise da tendência central e da análise custo e beneficio;

- Os *outliers* não representam apenas desvios, mas servem como possíveis *benchmarks* a serem analisados pelas DMU´s.

De acordo com Serrano-Cinca *et al*. (2005), tanto em Economia quanto em Engenharia,

o conceito de eficiência está associado à capacidade de produzir saídas com quantidades dadas de entradas. Logo, a eficiência de uma DMU pode ser calculada pela razão entre o produto obtido e o insumo utilizado no caso de uma economia de um só produto e insumo.

Porém, em uma situação realística, geralmente as DMU´s utilizam-se de vários insumos e não é difícil a obtenção de vários tipos de produtos, ou pelo menos mais do que um único produto (SERRANO-CINCA *et al*., 2005). Dessa forma, para obter a eficiência (E) de uma DMU com vários *inputs* e *outputs* deve-se calcular a razão entre a soma ponderada dos produtos e a soma ponderada dos insumos de maneira que:

$$E = {}^{u_1y_1 + u_2y_2 + \cdots}/_{v_1x_1 + v_2x_2 + \cdots} \qquad (13)$$

Sendo que:

u_1: Peso dado ao *Output* 2;
v_1: Peso dado ao *Output* 1;
x_{1j}: Total do *Input* 1 da unidade j;
y_{1j}: Total do *Input* 2 da unidade j.

Dessa forma é possivel a existencia de duas formas básicas de uma unidade considerada não eficiente se tornar eficiente. A primeira é reduzindo os recursos utilizados, mantendo constantes os produtos (orientação a *inputs*) e a segunda é fazendo o inverso (orientação a *outputs*).

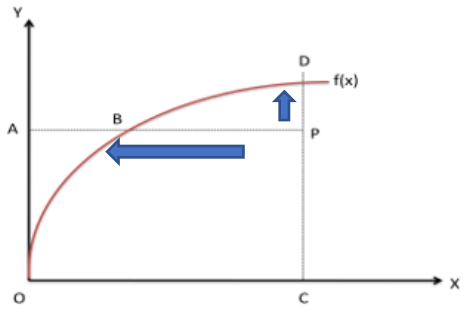
De acordo com Soares de Mello *et al* (2001) a DEA, não faz nenhuma suposição funcional e consideram que o máximo que poderia ter sido produzido é obtido por meio da observação das unidades mais produtivas, isto é, à partir da amostra.

Segundo a Equação (13), a DMU mais eficiente é aquela que apresenta melhor relação entre *output* ponderado e o *input* ponderado, estando, dessa forma, situadas sobre a fronteira de eficiência constrída pela aplicação do modelo ,enquanto as DMU´s consideradas ineficientes estarão situadas abaixo da fronteira de eficiência (THANASSOULIS E SILVA, 2018).

A curva de eficiência é apresentada em sua forma, na Figura 10, onde estão representadas as duas formas básicas de se atingir eficiência, citadas anteriormente. Na fronteira de eficiência definida por *f*(*x*), a DMU considerada ineficiente *P* precisa “caminhar” até o ponto *B* para tornar-se eficiente reduzindo recursos. No entanto, se optar por aumentar os produtos,

tem que “caminhar” até o ponto D.

Figura 10: Curva de Eficiência



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com o formato da fronteira de eficiência criada pela DEA, é possível a existência da possibilidade de retornos de escala diferentes para cada situação, dependendo do modelo utilizado. Os modelos distintos que representam diferentes retornos de escala são: o modelo CCR, criado por Charnes, Cooper e Rhodes, em 1978 que utilizam fronteiras que pressupõem retornos constantes de escala; e para retornos variáveis de escala utiliza-se o modelo, chamado BCC, criado por Banker, Charnes, Cooper e Rhodes, em 1984.

O modelo CCR (Charnes *et al*, 1978) em sua fórmula fracionaria é apresentado a seguir:

$$Max\ h_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} \Big/ \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} \qquad (14)$$

Sujeito a:

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0} \Big/ \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} \leq 1 \text{ para } j = 1, \dots, m \qquad (15)$$

Sendo que:

$r = 1, \dots, S$

$i = 1, \dots, m$

$u_r, v_i \geq 0$

Onde:

y_{rj}, x_{ij}: São os Outputs e Inputs da j-ésima DMU;

h_0: Valor ótimo de solução do modelo, sendo que $(0 \geq h_0 \geq 1)$, quando $(h_0 = 1)$ a

eficiência é máxima. Lembrando que essa variável não está sujeita a unidades de medida.

O modelo BCC (BANKER *et al*., 1984) considera situações de produção com variação de escala e não assume proporcionalidade entre *inputs* e *outputs*. De forma não matemática, no modelo BCC uma DMU é eficiente se, na escala em que opera, é a que melhor aproveita os recursos de que dispõe (relação *outputs*/*inputs*) (GONCALVEZ GOMES, 2008). DMU´s que possuem níveis baixos de *inputs* apresentarão retornos crescentes de escala, enquanto aquelas com altos níveis apresentarão retornos decrescentes de escala. Segue a formulação do modelo BCC (Banker *et al*., 1984) orientada a *input* abaixo:

$$Min \sum_{i=1}^{n} v_i x_{ki} + v_k \qquad (16)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{n} v_i x_{ki} + v_{rk} = 1 \qquad (17)$$

$$\sum_{i=1}^{n} v_i x_{ki} + v_{rk} - \sum_{r=1}^{m} v_i x_{ki} - v_k \leq 0 \qquad (18)$$

Sendo que v representa o tipo de retorno de escala da DMU que esta sendo analisada, enquanto que todas outras variáveis possuem mesma explicação que no modelo CCR, isto é, nas equações (14) e (15).

Diversos aperfeiçoamentos e desenvolvimentos teóricos aos modelos DEA clássicos vêm sendo realizados ao longo dos anos (GONÇALVEZ GOMES, 2008). Conforme destacado por Charnes *et al*. (1994), os novos desenvolvimentos em DEA surgem para contornar problemas que surgem na aplicação do método.

Modelo DEA- BoD – *Benefit of the Doubt*

O trabalho de Charnes, Cooper e Rhodes em 1978 (Charnes *et al*., 1978) apresentou o desenvolvimento do modelo DEA através de medidas de eficiência apresentadas anteriormente por Farrell (1957). O primeiro modelo de DEA, que apresenta retornos de escala constante em seus *outputs* diante da variação dos *inputs* ficou conhecido como modelo CRS (*constant returns to scale*) ou apenas Modelo CCR, levando o nome de seus desenvolvedores (Charnes, Cooper e Rhodes) e, em 1984, foi proposta uma variante deste modelo por Banker, Charnes e Cooper,

para considerar retornos dos *inputs* refletidos nos *outputs* variáveis à escala, chamado modelo BCC (COOPER *et al*., 2007).

Ao longo do tempo, outros modelos mais complexos têm sido desenvolvidos e atualmente sua aplicação pode ser realizada para a construção de Indicadores compostos, como pode ser visto em Mariano *et al*. (2015) a DEA é utilizada para a composição de índices inclusive no campo de desenvolvimento humano.

A confecção de Índices Compostos, assim como visto anteriormente, possui uma dificuldade particular na atribuição dos pesos, e ponderações na agregação de indicadores (CHERCHYE, 2007; CHERCHYE *et al*., 2008; HERMANS *et al*., 2008; ZHOUL *et al*., 2010; DECANCQ *et al*., 2013). Sendo que essa subjetividade pode ser traduzida em baixa eficácia do Indicador Composto em retratar a realidade a ser mensurada.

A relevância da utilização de DEA para criação de Indicadores Compostos recai sobre o fato de não haver necessidade em especificar os pesos a serem atribuídos a cada indicador de *input* e *output* (CHERCHYE, 2007). Esses pesos são definidos "automaticamente" por meio do processo de otimização que procura identificar os pesos ótimos para cada DMU, por forma a maximizar a *score* relativa de *performance* das DMU´s (ROGGE, 2012).

Como apresentado acima na modelagem convencional de DEA, o desempenho relativo de uma unidade é dado pela fração entre a soma ponderada de *outputs* e soma ponderada de *inputs*. Os modelos podem ser orientados a *output* ou orientados a *inputs.* Nos modelos orientados a *outputs*, pode-se encontrar os pesos que maximizam a soma ponderada dos *outputs* com base nos níveis observados de *inputs*, enquanto que, por raciocínio análogo, nos modelos orientados a *inputs*, pretende-se minimizar a soma ponderada de *inputs* dados os níveis observados de *outputs.*

O modelo de DEA chamado *Benefit of the Doubt* (BoD) foi aplicado em Cherchye *et al*. (2007) na construção de um IC em que se agregou diversos indicadores classificados como *outputs*. Contornando, dessa forma, os problemas de atribuição dos pesos o que evita a controvérsia na consideração do Índice elaborado. Este modelo é apoiado, portanto, na ideia de que a informação sobre o cenário de pesos apropriados pode ser devolvida pelos dados da própria amostra (CHERCHYE *et al*., 2007).

O objetivo da obtenção do Indicador Composto, como dito anteriormente, é converter os valores dos indicadores de cada dimensão em um único valor, refletindo a sua média ponderada. Com a aplicação do modelo DEA-BOD citado em Cherchye *et al*., 2007, temos a seguinte formalização para o problema matemático do peso que maximiza o *score* de IC para m indicadores e n países.

$$IC_j = max_{wij} \sum_{i=1}^{m} y_{ij} w_{ij} \qquad (19)$$

Considerando que:

$j = 1, \dots, n$

$i = 1, \dots, m$

Sendo:

IC_j = Indicador Composto do país j;

y_{ij} = Indicador i para o país j, sendo que quanto maiores os valores de y_{ij}, melhor;

w_{ij} = peso do *iésimo* indicador para o país *j* que maximiza o IC do país.

A equação (8) está sujeita às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^{m} y_{ij} w_{ij} \leq 1 \qquad (20)$$

$$w_{ij} \geq 0 \qquad (21)$$

A restrição (20) é conhecida como restrição da fronteira, dado que a eficiência relativa máxima de cada unidade deve ser igual ou inferior a 1, enquanto que a restrição (21) assegura que os pesos sejam números não negativos (restrição da não negatividade).

A restrição (21) sugere a existência de dois possíveis problemas. O primeiro é a possibilidade de haver algum país que possui um valor para algum dos indicadores muito superior aos demais países, isso levaria este país a ter o *score* igual a 1,0, mesmo com valores inferiores aos outros países nos outros indicadores. Outro problema é a possibilidade de haver muitos países na fronteira de eficiência (*score* igual a 1,0), impossibilitando a análise dos resultados de forma confiável.

Dessa forma, mostra-se necessária a introdução de mais uma restrição com relação aos pesos. Chamada por Cherchye *et al*. (2007) de *pie share constrant* – restrição da fatia de torta, consiste na abstração de se visualizar o IC como se fosse uma torta, então tais restrições revelam o quanto cada indicador contribui para a composição do IC, sendo cada um considerado uma

fatia, e logicamente, a soma das fatias deve ser igual ao todo, no caso, o Indicador Composto. A equação que representa tal restrição segue abaixo:

$$L_i \leq {y_{ij}w_{ij}}\Big/{\sum_{i=1}^{m} y_{ij}w_{ij}} \leq U_i \qquad (22)$$

Formalmente, na Equação (22), temos que a "fatia de torta" do país *j* é dada como o produto $y_{ij}w_{ij}$. Claramente, a soma das "fatias de torta" é igual ao *CIj* considerando limites inferiores L_i e superiores U_i.

Assim, temos que o modelo DEA BoD, contrariamente à maior parte das abordagens utilizadas na construção de Indicadores Compostos que utilizam métodos subjetivos de ponderação dos pesos de sub indicadores, como visto na revisão da literatura de IC, apresenta a grande vantagem de permitir que para cada país avaliado sejam considerados os seus pesos ótimos, maximizando assim o valor do seu IC relativamente aos outros países.

Porém, temos algumas desvantagens na utilização dessa ferramenta. Segundo Cherchye *et al*. (2007), esta flexibilidade que o modelo prevê para os pesos pode ser demasiadamente otimista pois permite a atribuição de peso com valor nulo ou muito elevado para um ou mais indicadores de desempenho. Sendo necessária alguma precaução na interpretação e na comparação dos pesos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES – PARTE 1

Relações entre Economia Circular e Sustentabilidade

Como apresentado na seção 1.1 deste trabalho, o primeiro propósito do presente estudo é estabelecer e caso haja, medir a relação existente entre Economia Circular e Sustentabilidade. A amostra é composta por 22 dos 27 países da UE, sendo que os 5 países restantes foram excluídos por não disponibilizarem dados para esta série temporal. Os dados variam de 2011 a 2018, resultando em 176 observações.

Os dados das variáveis foram todos normalizados pelo método "*min-max normalization rescaling*" por máximos e mínimos, tal qual realizado por Ferraz *et al*. (2020), como pode ser visto na Equação (23). Assim, ao posicionar todas as variáveis entre zero e um, os parâmetros das regressões podem ser interpretados como de elasticidades.

$$z_e = \frac{x_e - \mathrm{Min}(x)}{\mathrm{Max}(x) - \mathrm{Min}\ (x)} \qquad (23)$$

Onde o dado normalizado z_e é a fração entre a diferença do seu valor original x_e subtraído do menor valor da amostra e a diferença entre o maior valor e o menor valor da amostra (FERRAZ *et al*., 2020).

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram considerados como sendo variáveis dependentes, com base em Schroeder *et al*. (2019) que aponta uma forte relação entre alguns ODS e práticas de Economia Circular; a Equação (24), denota a representação funcional a qual o modelo econométrico se baseará.

$$ODS_i = f\ (ECINVEST\ \ ; ECEMPR\ \ ; X) \qquad (24)$$

Onde:

ODS^j é cada um dos indicadores que representam cada Objetivo de Sustentabilidade;

$ECINVEST$ é composto por investimentos em Setores baseados em Economia Circular;

$ECEMPR$ é a parcela da mão de obra empregada em atividades relacionadas à Economia Circular;

X é uma matriz de variáveis de controle que completam o modelo; econometricamente sua utilidade é compor o modelo de outras variáveis que afetam as variáveis dependentes do modelo, no caso ODS_i, mas que não são objetos de estudo do trabalho.

As variáveis consideradas no modelo são extraídas da plataforma de dados europeia *Eurostat*®, que possui um total de 169 indicadores para todos os 17 ODS´s. A Tabela 4 apresenta os 7 indicadores que serviram como variáveis dependentes nos modelos e seus respectivos ODS.

Tabela 4: Indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Objetivo de Desenvolvimento Sustentável	**Indicador**
ODS 6	População ligada a pelo menos tratamento secundário de águas residuais
ODS 7	Participação das energias renováveis no consumo final bruto de energia
ODS 8	Parcela da população empregada sob risco de pobreza
ODS 8	PIB real *per capita*
ODS 12	Taxa de uso de materiais circulares
ODS 12	Produtividade de recursos e consumo de materiais domésticos (*DMC - Domestic Material Comsuption*)
ODS 15	Superfícies terrestres designadas sob a rede *Natura 2000*

Fonte: Elaborada pelo autor

Os indicadores apresentados pela Tabela 4 são explanados a seguir.

A **População ligada a pelo menos tratamento secundário de águas residuais** ($TRAT$) mede a percentagem da população ligada a sistemas de tratamento de águas residuais com pelo menos tratamento secundário. Essa etapa é constituída por processos bioquímicos que podem ser aeróbicos ou anaeróbicos e tem como objetivo principal a remoção da matéria orgânica que não foi removida no tratamento anterior de forma a permitir a obtenção de um efluente em conformidade com a legislação ambiental local.

É utilizado para monitorar o progresso em direção ao ODS 6 sobre água potável e saneamento. Entre outras coisas, o ODS 6 pede a garantia de acesso universal a água potável segura e acessível, saneamento e higiene. Também visa melhorar a qualidade da água e a eficiência de seu uso e incentivar captações sustentáveis e fornecimento de água doce.

A **Participação das energias renováveis no consumo final bruto de energia** ($ENRENOV$) mede a proporção do consumo de energia renovável no consumo final bruto de

energia de acordo com a Diretiva de Energias Renováveis. O consumo final bruto de energia é a energia utilizada pelos consumidores finais (consumo final de energia) adicionados às perdas na rede e o autoconsumo das usinas. O ODS 7 exige garantir o acesso universal a serviços de energia modernos, melhorar a eficiência energética e aumentar a participação de energia renovável no consumo. Para acelerar a transição para um sistema de energia acessível, confiável e sustentável, os países precisam facilitar o acesso à pesquisa de energia limpa, promover o investimento em infraestrutura energética e tecnologia de energia limpa.

A **Parcela da população empregada sob risco de pobreza** ($RISCPOBR$) é composto pelas pessoas empregadas e com rendimento disponível abaixo do limiar de risco de pobreza, que é fixado em 60 % do rendimento disponível equivalente médio nacional (após transferências sociais). Para efeitos deste indicador, de acordo com a plataforma Eurostat® considera-se empregado aquele que esteve empregado durante mais de metade do ano de referência. O indicador é baseado no EU-SILC - *European Union Statistics on Income and Living Conditions* (estatísticas de renda, inclusão social e condições de vida). O indicador é usado para monitorar o progresso em direção ao ODS 1 sobre acabar com a pobreza em todas as suas formas em todos os lugares, e também é utilizado para monitorar o progresso em direção ao ODS 8 sobre trabalho decente e crescimento econômico, além de ser incluído como indicador secundário no Painel Social do Pilar Europeu dos Direitos Sociais e no Plano de Ação EPSR (Pilar Europeu dos Direitos Sociais).

A pobreza e a exclusão social prejudicam a vida dos indivíduos e limitam as oportunidades para que as pessoas atinjam seu pleno potencial, afetando sua saúde e bem-estar e diminuindo os resultados educacionais. Isso, por sua vez, reduz as oportunidades de levar uma vida bem-sucedida e aumenta ainda mais o risco de pobreza. Sem sistemas eficazes de educação, saúde, sociais, benefícios fiscais e de emprego, o risco de pobreza é transmitido de uma geração para a seguinte. Isso faz com que a pobreza persista e, portanto, cria mais desigualdade, o que pode levar à perda de longo prazo da produtividade econômica de grupos inteiros da sociedade e dificultar o crescimento econômico inclusivo e sustentável. O emprego é frequentemente considerado a melhor proteção contra a pobreza, pelo que um dos objetivos da UE é criar mais e melhores empregos. Portanto, é importante medir a proporção de trabalhadores pobres, pessoas que vivem abaixo da linha da pobreza, embora estejam trabalhando.

O **PIB Real per capita** ($PIBpc$) é calculado como a razão entre o PIB real e a população média de um ano específico. O PIB mede o valor da produção final total de bens e serviços produzidos por uma economia dentro de um determinado período de tempo. Inclui bens e

serviços que têm mercados (ou que podem ter mercados) e produtos que são produzidos pelas administrações públicas e instituições sem fins lucrativos. É uma medida da atividade econômica e é comumente considerada como *proxy* para o desenvolvimento dos padrões materiais de vida de um país.

É utilizado para monitorar o progresso em direção ao ODS 8 sobre trabalho decente e crescimento econômico, este objetivo reconhece a importância do crescimento econômico sustentado e altos níveis de produtividade econômica para a criação de empregos de qualidade e bem remunerados e a conquista da prosperidade global. Dito isso, visa um crescimento econômico inclusivo e sustentável, que não deixe ninguém para trás e não prejudique o meio ambiente.

A **Taxa de uso de materiais circulares** ($USOMC$) mede a participação do material recuperado e devolvido à economia - economizando dessa forma a extração de matérias-primas primárias - no uso geral do material. O uso circular de materiais, também conhecido como **taxa de circularidade**, é definido como a razão entre o uso circular dos materiais e o uso geral do material que é medido pela soma do consumo doméstico agregado de materiais e o uso circular de materiais. O DMC é definido nas contas de fluxo de materiais de toda a economia. A utilização circular de materiais é aproximada pela quantidade de resíduos reciclados em instalações de valorização domésticas subtraídos os resíduos importados destinados a valorização somados aos resíduos exportados destinados a valorização no estrangeiro. Um valor de taxa de circularidade mais alto indica que mais materiais secundários substituem as matérias-primas primárias, reduzindo dessa forma os impactos ambientais da extração de matéria prima.

A **Produtividade de recursos e consumo de materiais domésticos** (DMC) é calculada por meio da divisão do Produto Interno Bruto (PIB) pelo consumo interno de materiais (DMC – *Domestic Material Consumption*). O DMC mede a quantidade total de materiais usados diretamente por uma economia, e é definido como sendo a quantidade anual de matérias-primas extraídas do território nacional da economia focal, adicionando todas as importações físicas e subtraindo todas as exportações físicas. É importante notar que o termo 'consumo', como usado na DMC, denota consumo aparente e não consumo final. O DMC não inclui fluxos *upstream* relacionados a importações e exportações de matérias-primas e produtos originários de fora da economia focal.

Esses dois indicadores últimos indicadores apresentados (taxa de uso de matérias circulares e produtividade de recursos) são utilizados no monitoramento do progresso em direção ao ODS 12 para garantir padrões sustentáveis de consumo e produção, tal objetivo exige um conjunto abrangente de ações de empresas, formuladores de políticas, pesquisadores e

consumidores para se adaptar às práticas sustentáveis. Ele prevê produção e consumo sustentáveis com base em capacidade tecnológica avançada, eficiência de recursos e redução do desperdício global. Com base nas políticas e legislação da UE existentes, o Pacote da Economia Circular estabelece um programa de ação com medidas que abrangem todo o ciclo, desde a produção e consumo até à gestão de resíduos. O pacote inclui compromissos sobre design ecológico, prevenção e reutilização de resíduos, ciclos de materiais limpos e metas quantitativas ambiciosas para aumentar a reciclagem e reduzir a deposição em aterros, obrigações para melhorar a coleta seletiva de resíduos, bem como a promoção do uso eficiente de recursos biológicos.

A Comissão Europeia adotou o novo plano de ação para a Economia Circular (CEAP) em março de 2020. A transição da UE para uma Economia Circular reduzirá a pressão sobre os recursos naturais e criará crescimento sustentável e empregos. É também um pré-requisito para atingir a meta de neutralidade climática da UE para 2050 e pausar a perda de biodiversidade. O novo plano de ação anuncia iniciativas ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos. Visa a forma como os produtos são concebidos, promove processos de economia circular, incentiva o consumo sustentável e visa garantir que os resíduos sejam evitados e os recursos utilizados sejam mantidos na economia da UE pelo maior tempo possível.

E, por fim, a área de **Superfícies terrestres designadas sob a rede *Natura 2000*** ($RESERV$) mede a superfície terrestre designada sob a rede *Natura 2000*. A rede *Natura 2000* compreende áreas protegidas marinhas e terrestres designadas com o objetivo de manter ou restaurar um estado de conservação favorável para tipos de *habitats* e espécies.

Sua utilização é útil para monitorar o progresso em direção ao ODS 15 sobre proteção, restauração e promoção do uso sustentável da terra, que está incorporado nas Prioridades da Comissão Europeia sob o 'Acordo Verde Europeu'. Tal Objetivo visa proteger, restaurar e promover a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, de águas interiores e de montanha. Isso inclui esforços para gerenciar florestas de forma sustentável e interromper o desmatamento, combater a desertificação, restaurar terras e solos degradados, interromper a perda de biodiversidade e proteger espécies ameaçadas.

Os indicadores **Investimentos em Economia Circular** ($ECinv$) **e Empregos relacionados à Economia Circular** ($ECemp$) fazem parte do conjunto de indicadores de Economia Circular e são utilizados pela União Europeia para monitorar os progressos em direção a uma Economia Circular principalmente nos quesitos competitividade e inovação, dadas suas naturezas. De acordo com o Portal *Eurostat*, a EC possui o potencial de contribuir para a geração de emprego e o crescimento econômico. A inovação e os investimentos – em

ecodesign, em matérias-primas secundárias, em processos de reciclagem e em simbiose industrial – são considerados como um elemento-chave da transição para uma economia mais circular. Setores específicos que estão intimamente relacionados com a EC, como os setores de reciclagem, reparo e reutilização, são particularmente intensivos em empregos e contribuem para o emprego local. A criação de emprego e crescimento é uma prioridade fundamental para a União Europeia. Ainda de acordo com o *Eurostat*®, se espera que a agenda da Economia Circular e, por conseguinte, os setores de reciclagem, reparação e reutilização contribuam significativamente para esta prioridade.

O Investimento bruto em bens é definido como o investimento durante o ano de referência em todos os bens tangíveis. Estão incluídos os bens de capital tangíveis novos e existentes, comprados de terceiros ou produzidos para uso próprio (ou seja, produção capitalizada de bens de capital tangíveis), com vida útil superior a um ano, incluindo bens tangíveis não produzidos, como terrenos. Estão excluídos os investimentos em ativos intangíveis e financeiros.

Os Empregos são expressos em número de pessoas ocupadas e em percentagem do emprego total. O número de pessoas ocupadas é definido como o número total de pessoas que trabalham na unidade de observação, ou seja, a empresa (incluindo proprietários, trabalhadores, sócios que trabalham regularmente na unidade e trabalhadores familiares não remunerados), bem como pessoas que trabalham fora da unidade que pertencem a ele e são pagos por ele, tais como representantes de vendas, entregadores, equipes de reparo e manutenção. Exclui-se dessa classificação a mão-de-obra fornecida à unidade por outras empresas, as pessoas que efetuam trabalhos de reparo e manutenção na unidade de por conta de outras empresas (terceirização).

A seguir são detalhadas as variáveis de controle seguidas de suas respectivas fontes. Variáveis de controle são aquelas que compõem os modelos, influenciam as variáveis dependentes, porém não fazem parte do objeto de estudo em questão.

As **Emissões de gases Estufa** ($EMIS$) são compostas de totais de CO_2 excluindo queima de biomassa de ciclo curto (como queima de resíduos agrícolas e queima de savana), mas incluindo outras queimas de biomassa (como incêndios florestais, decomposição pós-queima, incêndios de turfa e decomposição de turfeiras drenadas), todas as fontes antropogênicas de CH_4, fontes de N_2O e gases fluorados (HFCs, PFCs e SF6). Fonte: *Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR).*

As **Exportações** (EXP) de bens e serviços representam o valor de todos os bens e outros serviços de mercado fornecidos ao resto do mundo. Eles incluem o valor da mercadoria, frete, seguro, transporte, viagens, royalties, taxas de licença e outros serviços, como serviços de

comunicação, construção, financeiros, informações, negócios, pessoais e governamentais. Eles excluem remuneração de funcionários e rendimentos de investimento (anteriormente chamados de serviços de fatores) e pagamentos de transferência. Fonte: *OECD National Accounts data files.*

Outra variável de controle considerada nos modelos é o **Acesso à Internet** ($ACINT$) que é a soma dos indivíduos que utilizaram serviço de Internet (de qualquer local) nos últimos 3 meses. A Internet pode ser usada através de um computador, celular, assistente digital pessoal, máquina de jogos ou TV digital. Fonte: *International Telecommunication Union (ITU) World Telecommunication*.

O **IDH** (IDH) é uma medida de três dimensões básicas do Desenvolvimento Humano: renda, educação e saúde. O objetivo da criação do IDH foi o de oferecer um contraponto a outro indicador muito utilizado, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento. Criado por Mahbub ul Haq com a colaboração do economista indiano Amartya Sen, ganhador do Prêmio Nobel de Economia de 1998, o IDH pretende ser uma medida geral e sintética que, apesar de ampliar a perspectiva sobre o desenvolvimento humano, não abrange nem esgota todos os aspectos de desenvolvimento (PNUD, 2022).

Os **Gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)** ($GASTPeD$) são expressos em porcentagem do PIB. Incluem despesas de capital e despesas correntes nos quatro setores principais: Empresas, Governo, Ensino Superior e Privado sem fins lucrativos. P&D abrange pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental. Fonte: *UNESCO Institute for Statistics.*

A **Liberdade de expressão** ($VOIACC$) reflete as percepções do grau em que os cidadãos de um país são capazes de participar na escolha de seu governo, bem como a liberdade de expressão, liberdade de associação e mídia livre. Fonte: *Worldwide Governance Indicators.*

A **Liberdade Econômica *(Index of Economic Freedom)*** ($ECOLIB$) é o direito fundamental de todo ser humano de controlar seu próprio trabalho e propriedade. Em uma sociedade economicamente livre, os indivíduos são livres para trabalhar, produzir, consumir e investir da maneira que quiserem. Em sociedades economicamente livres, os governos permitem que trabalho, capital e bens se movimentem livremente e se abstêm de coerção ou restrição da liberdade além do necessário para proteger e manter a própria liberdade. Fonte: *The Heritage Foundation.*

Os modelos aplicados podem ser escritos como apresentados na Equação (18), lembrando que de acordo com o modelo empregado, as variáveis explicativas foram

consideradas com defasagem de tempo de $(t-1)$ para fins de adequação funcional, bem como redução da probabilidade de problemas de endogeneidade. Contudo, a fim de garantir a consistência estatística dos parâmetros estimados, todas as variáveis relacionadas às hipóteses serão testadas quanto à endogeneidade por meio da estatística C (inferência de duas estatísticas de Sargan-Hansen) em uma estimativa LIML (*Limited Information Maximum Likelihood*), visto que este método apresenta melhor desempenho com amostras pequenas e instrumentos fracos (MARK, 2005). Dessa forma, as variáveis independentes em $(t-1)$ explicam as variáveis dependentes em t.

$$\ln ODS_{it}^{j} = \beta_0 + \ln \beta_1 \, ECemp_{it} + \ln \beta_2 \, ECinv_{it} + \ln \beta_3 \, EMIS_{it} + \ln \beta_4 \, EXP_{it} + \ln \beta_5 \, ACINT_{it} + \ln \beta_6 \, IDH_{it} + \ln \beta_7 \, GASTPeD_{it} + \ln \beta_8 \, VOIACC_{it} + \ln \beta_9 \, ECOLIB_{it} + a_{it} + e_{it} \qquad (25)$$

Onde:

$$j = (TRAT_{it}, ENRENOV_{it}, RISCPOBR_{it}, PIBpc_{it}, USOMC_{it}, DMC_{it}, RESERV_{it})$$

O conjunto de variáveis dependentes que representam cada uma, um Objetivo de Desenvolvimento Sustentável é dado por j, computando assim as sete equações estimadas.

Resultados e discussão das estimações

Os resultados das estimações econométricas FGLS, encontram-se na Tabela 14, onde pode ser visto que para todos os Objetivos de Sustentabilidade analisados na amostra, o Investimento em setores de Economia Circular se mostrou mais contributário do que os empregos relacionados à Economia Circular.

Contudo, apesar da Tabela 5 apresentar tanto a estimação de efeitos-fixos quanto aleatórios, a base da análise dos resultados será o modelo de efeitos aleatórios estimado por FGLS. Tal escolha baseia-se no fato de que os estimadores de FE têm um desempenho ruim quando há pouca variabilidade das entidades do painel (Williams, 2018) e podem não explicar variáveis que também apresentam baixa variabilidade ao longo do tempo (Bell et al., 2019). Nesses casos, estimadores de RE tendem a compreender melhor os efeitos de variáveis com baixa variabilidade. Também, estudos de simulação recentes, como (Andrew Bell, Malcolm

Fairbrother & Kelvyn Jones) defendem que a FE é incapaz de fornecer estimativas nos parâmetros que são enviesados por violações de normalidade, enquanto assume erroneamente que interceptações aleatórias introduzem apenas vieses modestos.

Tabela 5 – Estimação dos Modelos

VARIABLES	DMC - FE - DK	DMC - RE - FGLS	TRAT- FE - DK	TRAT- RE - FGLS	ENRENOV - FE - DK	ENRENOV - RE - FGLS	RISCPOBR - FE - DK	RISCPOBR - RE - FGLS	PIBpc - FE - DK	PIBpc - RE - FGLS	USOMC - FE - DK	USOMC - RE - FGLS	RESERV - FE - DK	RESERV - RE - FGLS
$ECemp_{t-1}$	0.0233	-0.0700**	-0.0632	0.0118	0.0444	0.282***	-0.0139	-0.0200*	-0.0222**	-0.102***	0.140	0.0334	0.00231	0.0315
	(0.0148)	(0.0291)	(0.0489)	(0.0215)	(0.0394)	(0.0274)	(0.0214)	(0.0117)	(0.00616)	(0.0187)	(0.0791)	(0.0348)	(0.00323)	(0.0239)
$ECinv_{t-1}$	-0.0522	0.337***	0.00709	0.0326**	0.0204	-0.506***	0.00671	-0.0313**	0.0387**	0.0436***	-0.116	0.205***	-0.00728	0.140***
	(0.137)	(0.0415)	(0.0477)	(0.0152)	(0.0344)	(0.0493)	(0.00992)	(0.0152)	(0.0128)	(0.0160)	(0.125)	(0.0714)	(0.00474)	(0.0234)
$EMIS_{t-1}$	-0.154*	-0.0187	0.249**	0.110***	-0.286**	-0.110**	-0.0660*	0.00142	-0.0101	-0.0554***	0.163	0.259***	0.00460*	-0.0959***
	(0.0648)	(0.0368)	(0.0710)	(0.0194)	(0.0871)	(0.0530)	(0.0307)	(0.0179)	(0.0152)	(0.0193)	(0.0934)	(0.0394)	(0.00209)	(0.0196)
EXP_{t-1}	0.0676*	-0.0438	0.0303	0.0515**	-0.101*	-0.266***	0.0316	0.0622***	0.0155	-0.0536***	0.0310	0.0664*	0.00138	-0.316***
	(0.0339)	(0.0351)	(0.0648)	(0.0215)	(0.0470)	(0.0307)	(0.0168)	(0.0115)	(0.0102)	(0.0160)	(0.0463)	(0.0373)	(0.00499)	(0.0205)
$ACINT_{t-1}$	0.0169	0.0775***	0.170***	0.0942***	0.0408*	0.0972**	-0.0314	0.00870	0.0179	0.0500***	0.0107	0.104***	0.00991***	0.0269
	(0.0166)	(0.0256)	(0.0302)	(0.0210)	(0.0205)	(0.0407)	(0.0200)	(0.0145)	(0.0107)	(0.0175)	(0.0303)	(0.0353)	(0.00199)	(0.0182)
IDH_{t-1}	0.0816***	0.122***	0.188***	0.288***	0.169**	0.00619	0.00122	0.0318**	0.127***	0.234***	0.0897***	-0.0218	-0.0119***	-0.0589***
	(0.0138)	(0.0309)	(0.0222)	(0.0272)	(0.0555)	(0.0443)	(0.0134)	(0.0144)	(0.0274)	(0.0180)	(0.0236)	(0.0421)	(0.00135)	(0.0211)
$GATPeD_{t-1}$	0.0822*	0.130***	-0.0516	0.0341	-0.0231	0.443***	-0.0954***	0.0385***	-0.0114	0.216***	0.535**	0.100**	-0.00159	0.0449**
	(0.0390)	(0.0265)	(0.0486)	(0.0258)	(0.0303)	(0.0389)	(0.0127)	(0.0113)	(0.0121)	(0.0178)	(0.169)	(0.0392)	(0.00295)	(0.0192)
$VOIACC_{t-1}$	0.00596	0.00413	0.00819	-0.000836	0.0115*	0.00605	-0.00903**	-0.00359*	-0.000334	-0.00276	0.00753	0.00328	0.000261	0.00129
	(0.00407)	(0.00364)	(0.0117)	(0.00264)	(0.00571)	(0.00526)	(0.00306)	(0.00208)	(0.000744)	(0.00232)	(0.00713)	(0.00426)	(0.000434)	(0.00219)
$ECOLIB_{t-1}$	0.00110	-0.000658	-0.0141	0.00411	-0.00452	-0.00480	0.000220	0.00121	0.00132	0.00678**	-0.00271	-0.00228	-0.000305	0.00239
	(0.00420)	(0.00395)	(0.00970)	(0.00309)	(0.00395)	(0.00602)	(0.00188)	(0.00282)	(0.000963)	(0.00314)	(0.00694)	(0.00607)	(0.000598)	(0.00256)
$Intercepto$	0.225***	0.154***	0.617***	0.455***	0.380***	0.247***	0.210***	0.0789***	0.135***	0.00177	-0.0835	0.00615	0.245***	0.366***
	(0.0521)	(0.0327)	(0.0840)	(0.0329)	(0.0275)	(0.0566)	(0.0225)	(0.0249)	(0.00473)	(0.0259)	(0.0717)	(0.0481)	(0.00483)	(0.0257)
Observações	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154
R^2														
Número de países	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22

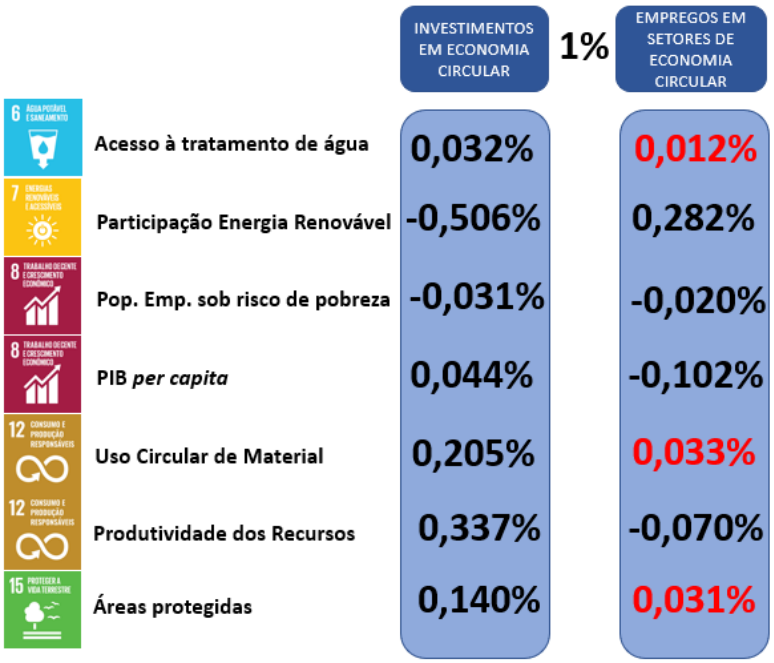
Erros padrão em parênteses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

OLS-based mean VIF = 2.21

Para ilustrar a interpretação da Tabela 5, a Figura 11 apresenta os coeficientes das regressões estimadas, ilustrando a magnitude dos impactos que o acréscimo de 1% nos Investimentos em Economia Circular e na taxa de Emprego em setores circulares causa nas variáveis de Sustentabilidade consideradas na amostra, os valores grifados na cor vermelha não foram estatisticamente significantes para as variáveis de investimentos e empregos relacionados à EC, portanto não são passíveis de interpretação nesse modelo.

Figura 11: Impactos das práticas Circulares nos ODS



Fonte: Produção Própria

Shpak *et al*. (2020) afirma que a Economia Circular não se trata simplesmente um método de lidar com uma grande quantidade de resíduos, vai muito além disso, principalmente no que tange ao alcance da Sustentabilidade, pois todas as medidas previstas neste contexto visam principalmente o desenvolvimento sustentável e o crescimento econômico. Os resultados dos modelos empregados corroboram tal afirmação, pois os impactos das práticas de Economia Circular são positivos em diversas esferas da Sustentabilidade, não apenas a Objetivos relacionados à resíduos.

O plano de ação da UE para a Economia Circular, que foi apresentado pela Comissão em dezembro de 2015, teve como principal objetivo apoiar a transição para uma economia mais forte e principalmente com maior circularidade, em que os recursos são empregados de forma sustentável, ocasionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia (UE, 2020).

Em concordância com a UE, que associa maior circularidade com maior sustentabilidade, principalmente nos âmbitos econômicos e ambientais, Schröeder e Raes (2021) propõem que as atividades da Economia Circular podem contribuir direta e indiretamente para alcançar inúmeras metas sociais, econômicas e ambientais dos ODS, mais óbvia e diretamente a ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis, pois por meio dessa meta, os progressos em outros ODS´s é amplificado.

Como pode ser visto na Figura 11 e na Tabela 5, os Investimentos em Economia Circular têm efeito positivo nos ODS analisados, com exceção para o indicador de parcela da população empregada, porém sob risco de pobreza, levando ao entendimento lógico que o aumento de empregos relacionados à setores circulares gera impacto negativo sobre a população trabalhadora em tal situação e também em relação ao consumo de Energia proveniente de fontes renováveis.

Os impactos sobre áreas de reservas, sob jurisdição da *Natura 2000*, se mostraram positivos em relação ao Investimento em áreas relacionadas a Economia Circular, demonstrando que um aumento de 1% no Investimento em EC no período anterior acarreta acréscimo de 0,14% na área protegida no ano subsequente. Tal efeito de proporção não tão significativa pode ser explicado pela rigidez do montante de áreas; uma vez que façam parte da reserva, as áreas já incorporadas na jurisdição não são excluídas por se tratar da conservação de *habitats* naturais de fauna e flora silvestres, chamadas Zonas Especiais de Conservação. As informações relativas às áreas de preservação *Natura 2000* representam o Objetivo de Sustentabilidade 15 – Vida Terrestre, e que segundo Schröder e Raes (2021), o meio para se obter melhorias dentro dessa esfera pode ser facilitado por meio da circularidade das cadeias de suprimentos agrícolas.

Para o DMC produtividade dos recursos, os Investimentos em EC resultam em um impacto positivo, dado que o aumento de 1% no Investimento em EC no período anterior resultam em um acréscimo de 0,33% na produtividade de recursos das economias em questão. Um dos objetivos da Economia Circular é o chamado *decoupling*, que de acordo com Scheel *et al*. (2020) representa uma tarefa complexa e desafiadora cuja implementação bem-sucedida só pode ser alcançada se gerido a nível regional com uma abordagem sistêmica e consiste na diminuição entre a relação da produção econômica e o consumo de recursos. Em relação à Taxa de uso de materiais circulares, o investimento possui relação positiva, impactando em 0,20% a cada 1% de investimentos. Até então os resultados apontam que os investimentos em EC contribuem positivamente para atingir Consumo e Produção Responsáveis, representantes do Objetivo de Sustentabilidade 12.

Dada sua conexão com a maioria dos outros ODS, Schröder e Raes (2020) aponta que a implementação das metas do ODS 12 por meio de soluções de EC, torna possível um progresso mais amplo dos ODS. As atividades da EC podem contribuir positivamente para o ODS 2 por intermédio da redução das perdas e desperdício de alimentos e construção de sistemas alimentares circulares e regenerativos e tornar as cadeias de suprimentos agrícolas mais circulares pode atender aos ODS 2, 8, 12 e 15 e é fundamental para melhorar a segurança alimentar e reduzir a fome, especialmente nas áreas rurais, além de criar oportunidades de renda para produtores e pequenos negócios rurais.

Além disso, soluções circulares podem apoiar o ODS 3 (boa saúde e bem-estar) por meio da redução de resíduos e poluição; ODS 6 (garantir o acesso à água e saneamento para todos); Também, o ODS 8 (crescimento econômico inclusivo e sustentável, emprego e trabalho decente) oferece oportunidades para aplicar soluções de Economia Circular, melhorando as condições de trabalho nos setores informais que processam recursos secundários, ou estabelecendo redes de simbiose industrial para o desenvolvimento industrial eficiente em termos de recursos (SCHRÖDER e RAES, 2020).

Em relação aos impactos relativos ao crescimento econômico, a amostra revelou, mediante o desenvolvimento do modelo, que o acréscimo de 1% no investimento em EC gera um aumento de 0,04% no PIB *per capita* das regiões em estudo. Mesmo que considerado um resultado modesto, o impacto positivo revela a importância do investimento em circularidade por parte dos países em relação à fatores não apenas ambientais da circularidade, mas também relacionados a questões econômicas do ponto de vista de geração e acréscimo da renda da população.

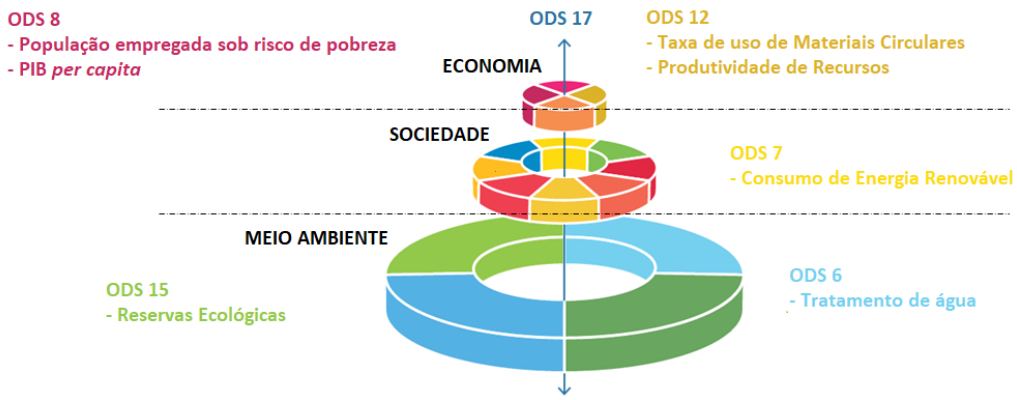
De acordo com Ferrante e Germani (2020), os efeitos da Economia Circular são altamente debatidos, e sua conceituação tem sido acompanhada por controvérsias entre formuladores de políticas e empresas, em seu trabalho foca na associação da EC com variáveis socioeconômicas revelando que, independentemente dos benefícios ambientais, as medidas a favor da implementação de práticas de EC podem, significativa e diretamente, contribuir para o crescimento econômico.

Ao contrário do que foi constatado para os demais indicadores, o consumo de energia proveniente de fontes renováveis apontou para uma relação negativa com o Investimento em EC. Tal resultado pode indicar para a necessidade de alternativas renováveis que possam ser consideradas viáveis, tanto economicamente quanto em relação à escala de fornecimento, para suprir as demandas adicionais provenientes de fontes mais sustentáveis. Em compensação, o aumento do emprego relacionado à EC gera um impacto positivo no consumo de energia. O

acesso ao tratamento pelo menos secundário de água, apesar de positivo, não é considerado elástico.

A interpretação dos resultados obtidos nessa seção do trabalho se alinha com o proposto por Rockström e Sukhdev (2016) apresentado na Figura 12. Como pode ser visto na representação dos autores, ao se dividir os Objetivos em três esferas (Econômica, Social e Ambiental), alguns ODS podem ser interpretados de diferentes maneiras, pois a interligação entre eles permite que um ODS possa atender não apenas ao requisito de uma dimensão, mas transita entre todas e se conecta com os demais, formando um conjunto que não deve ser interpretado individualmente.

Figura 12 – Adaptação da Figura de Rockström e Sukhdev para a amostra



Fonte: Adaptado de Rockström e Sukhdev (2016)

Segundo Rockström e Sukhdev (2016) os objetivos devem ser entendidos sob a perspectiva de conjunto, de modo a promover coletivamente o ODS 17, que consiste em promover o desenvolvimento, a transferência, a disseminação e a difusão de tecnologias ambientalmente corretas para os países em desenvolvimento, em condições favoráveis, inclusive em condições concessionais e preferenciais, conforme mutuamente acordado.

Tal forma de contemplar os Objetivos de Sustentabilidade, conjuntamente como proposto por Rockström e Sukhdev (2016) corrobora Schröder e Raes (2021) no sentido de que as práticas de Economia Circular podem contribuir direta e indiretamente na obtenção de resultados em inúmeros Objetivos sociais, econômicos e ambientais. A abordagem conjunta de indicadores de Sustentabilidade simultaneamente a indicadores de Economia Circular, tal qual os autores sugerem, justificam a criação de um Indicador Composto que aborde todas as

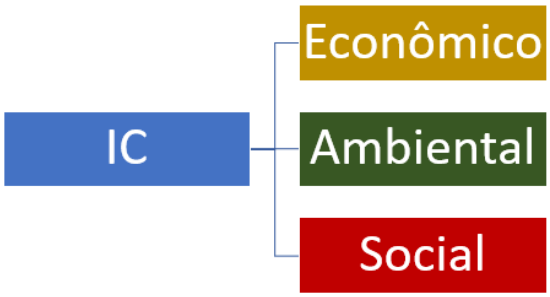
dimensões concomitantemente. A próxima seção do trabalho consiste na elaboração de um Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES – PARTE 2

Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade

Para a elaboração do Indicador Composto, foram inicialmente realizadas buscas nas bases de dados por publicações sobre o tema Economia Circular que se relacionassem com cada uma das dimensões do tripé da sustentabilidade, sendo, dessa forma, o Indicador Composto formado inicialmente por essas três dimensões, como ilustra a Figura 13.

Figura 13: Dimensões do Indicador Composto



Fonte: Autor

A dimensão Econômica da EC é consoante aos resultados econômicos resultantes de sua implementação. Dentre os mais citados artigos científicos recentes pesquisados, foi elaborada a Tabela 6, composta por esses trabalhos.

Tabela 6: Perspectiva econômica da Economia Circular

GENG e DOBERSTEIN, 2010	Geng, Y., & Doberstein, B. (2010). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 231-239.
ZHU *et al*., 2011	Zhu, Q., Geng, Y., Sarkis, J., & *et al*. (2011). Evaluating green supply chain management among Chinese manufacturers from the ecological modernization perspective. *Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review*, pp. 808-821.
DONG *et al*., 2013	Dong, L., Fujita, T., Zhang, H., & *et al*. (2013). Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. *Energy Policy*, pp. 864-873.
ANDREWS, 2015	Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy*, pp. 305-315.
ANTIKAINEN e VALKOKARI, 2016	Antikainen, M., & Valkokari, K. (2016). A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. *Technology Innovation Management Review*, pp. 5-12.
MILLAR *et al*., 2019	Millar, N., Börger, T., & McLaughlin, E. (2019). The Circular Economy: Swings and Roundabouts? *Ecological Economics*, 11-19.

Fonte: Produção Própria

A dimensão referente à perspectiva social da EC é relacionada aos resultados sociais da adoção de suas práticas, mudança de mentalidade empresarial e de consumo. A Tabela 7 relaciona os trabalhos que trataram o tema sob tal concepção, dentre os mais citados artigos científicos recentes pesquisados.

Tabela 7: Perspectiva social da Economia Circular

ANDREWS, 2015	Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy*, pp. 305-315.
ANTIKAINEN E VALKOKARI, 2016	Antikainen, M., & Valkokari, K. (2016). A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. *Technology Innovation Management Review*, pp. 5-12.
MILLAR *et al*., 2019	Millar, N., Börger, T., & McLaughlin, E. (2019). The Circular Economy: Swings and Roundabouts? *Ecological Economics*, 11-19.

Fonte: Produção Própria

Corroborando com a literatura, no que tange a perspectiva social das pesquisas em EC, o número de trabalhos que consideraram tal questão foi inferior aos que tratam de temas relacionados a quesitos econômicos e ambientais. Tal como Geng *et al*. (2012) sugeriram, existe a necessidade de focar análises sobre implicações sociais da EC.

As questões sociais transitam entre conscientização do público quanto à responsabilidade sustentável, mudança de *mindset* com relação à mudança dos hábitos de consumo, tanto em preferencias relacionadas a produtos remanufaturados quanto referentes ao consumo de serviços ao invés da aquisição de produtos, e ainda à melhora da qualidade de vida proveniente do desenvolvimento alcançado proporcionado pelos modelos de negócios com propostas circulares.

A dimensão do quesito Ambiental, é justificada pelas publicações indicadas na Tabela 8, trabalhos que tratam da eficiência de utilização de recursos, redução de emissões e aumento ou manutenção do estoque de recursos naturais.

Tabela 8: Perspectiva ambiental da Economia Circular

Geng e Doberstein, 2010	Geng, Y., & Doberstein, B. (2010). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 231-239.
Xi *et al*., 2011	Zhu, Q., Geng, Y., Sarkis, J., & *et al*. (2011). Evaluating green supply chain management among Chinese manufacturers from the ecological modernization perspective. *Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review*, pp. 808-821.
Zhu *et al*., 2011	Zhu, Q., Geng, Y., Sarkis, J., & *et al*. (2011). Evaluating green supply chain management among Chinese manufacturers from the ecological modernization perspective. *Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review*, pp. 808-821.
Dong *et al*., 2013	Dong, L., Fujita, T., Zhang, H., & *et al*. (2013). Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. *Energy Policy*, pp. 864-873.
Andrews, 2015	Andrews, D. (2015). The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy*, pp. 305-315.
Antikainen e Valkokari, 2016	Antikainen, M., & Valkokari, K. (2016). A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. *Technology Innovation Management Review*, pp. 5-12.
Wu *et al*., 2016	Wu, J., Zhu, Q., Ji, X., & *et al*. (2016). Two-stage network processes with shared resources and resources recovered from

	undesirable outputs. *European Journal Of Operational Research*, pp. 182-197.
Geisendorf e Pietrulla, 2017	Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2017). The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 771-782.
Genovese *et al*., 2017	Genovese, A., Acquaye, A., & Figeroa, A. (2017, Jan). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega-International Journal of Management Science* , pp. 344-357.
Millar *et al*., 2019	Millar, N., Börger, T., & McLaughlin, E. (2019). The Circular Economy: Swings and Roundabouts? *Ecological Economics*, 11-19.

Fonte: Produção Própria

Dos trabalhos contidos na Tabela 8, Geng *et al*. (2012) introduziram um sistema de indicadores de EC criado para a China, composto majoritariamente por indicadores ambientais, tal como segue na Tabela 9.

Tabela 9: Sistema de Indicadores de Economia Circular a nível macro

Grupos	**Indicador**
Produção de Recursos	Saída de Recursos Minerais Saída de Energia
Consumo de Recursos	Consumo de energia Consumo de água
Taxa de Utilização de Recursos	Taxas de reciclagem de resíduos sólidos industriais Taxa de reutilização industrial da água Taxa de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas Taxa de tratamento seguro de resíduos sólidos domésticos Taxas de reciclagem de materiais
Eliminação de resíduos e emissão de poluentes	Quantidade total de resíduos sólidos industriais para disposição final Quantidade total de emissões de gases

Fonte: Adaptado de Geng *et al*. (2012)

Utilizando o sistema de indicadores de Geng *et al*. (2012) como base, foram eleitos como Indicadores Ambientais: Área de Florestas, Consumo de Água (Índice de exploração de água), Emissões de CO2, Emissões de Metano, Gases Estufa e Consumo de Energia. A Tabela 10 reúne os indicadores ambientais escolhidos para o presente trabalho e suas fontes.

Tabela 10: Indicadores Ambientais

Indicador	**Fonte**
Área Florestal	Word Bank
Índice de Exploração de água	Eurostat
Emissões de CO2	Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, United States.
Emissões de Metano	European Commission, Joint Research Center (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)
Emissões de Gases Estufa	European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)
Consumo de Energia	IEA Statistics © OECD/IEA
Reciclagem de Resíduos Sólidos Municipais	Eurostat

Fonte: Produção Própria

Área de Florestas é equivalente à extensão de terra, sob povoamentos naturais ou plantados, de pelo menos 5 metros *in loco*, produtivos ou não, e exclui povoamentos em sistemas de produção agrícola e árvores em parques e jardins urbanos.

O índice de exploração mede a captação total de água doce que inclui a água removida de qualquer fonte de água doce, permanente ou temporariamente; a água proveniente de minas e de drenagem, bem como as captações de água de precipitações, enquanto que a água utilizada

para geração de hidroeletricidade está excluída. O limite de alerta de 20% para este indicador distingue uma região não estressada de uma região com escassez de água, e a consideração de escassez severa ocorre quando o índice excede 40%. No entanto, segundo sua fonte, o indicador é limitado por vários motivos: Em primeiro lugar, a captação total de água doce não distingue entre a água captada que é redirecionada após o uso (e após o tratamento adequado) de volta ao corpo de água ou se é usada para fins de irrigação com evaporação inevitável. Em segundo lugar, a captação e o índice de exploração de água são dados nacionais e desconsideram as mudanças regionais e sazonais ao longo do ano (corpos d'água/bacias hidrográficas com diferentes níveis de escassez de água e pontos quentes no verão).

Emissões de CO_2 são aquelas provenientes da queima de combustíveis fósseis e da fabricação de cimento. Eles incluem dióxido de carbono produzido durante o consumo de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos e queima de gás.

Emissões de Metano são aquelas provenientes de atividades humanas, como agricultura e da produção industrial de metano.

Emissão de gases estufa são compostas de totais de CO_2 excluindo queima de biomassa de ciclo curto (como queima de resíduos agrícolas e queima de Savana), mas incluindo outras queimadas de biomassa (como incêndios florestais, decomposição pós-queimada, incêndios de turfa e decaimento de turfeiras drenadas), todas as fontes de CH_4 antropogênicas, fontes de N_2O e gases fluorados.

Consumo de Energia mede a produção de usinas e usinas combinadas de calor e energia, menos as perdas de transmissão, distribuição e transformação, e o uso próprio por usinas de energia e aquecimento.

A Reciclagem de Resíduos Sólidos Municipais é calculada como a porcentagem de resíduos gerados que são reciclados, compostados e submetidos à digestão anaeróbica.

Na apresentação do sistema de indicadores ambientais da China, Geng *et al*. (2012) frisou que uma avaliação sistemática sobre vários aspectos deve ser abordada. Essa avaliação exige que, além dos indicadores ambientais e econômicos, também sejam estabelecidos indicadores para retratar os aspectos sociais da EC (GENG *et al*., 2012). Como citado anteriormente, os trabalhos de Andrews (2015), Antikainen e Valkokari (2016) e Millar *et al*. (2019) exibiram a dimensão social.

Indicadores sociais possíveis, segundo Geng *et al*. (2012), incluiriam Grau de Conscientização e Participação Pública e Taxa de emprego por meio de esforços de EC. Tomando a participação pública como exemplo, este indicador ajudaria a medir o nível de uma alocação justa e equitativa de recursos ao implementar conceitos de EC (GENG *et al*., 2012).

Ainda de acordo com Geng *et al*. (2012), na China é de responsabilidade governamental investir em Pesquisa e Desenvolvimento em EC, o que possibilitaria a existência de benefícios sociais abrangentes para as comunidades locais sendo, de acordo com os autores, o nível de investimento em P&D um indicador social lógico para EC. Um indicador de investimento em P&D em EC garantirá que fundos suficientes possam ser alocados e que os resultados esperados possam ser alcançados em várias localidades (GENG *et al*., 2012). A Tabela 11 apresenta os Indicadores Sociais e suas fontes:

Tabela 11: Indicadores Sociais

Indicador	**Fonte**
Trabalhadores em Atividades de Reparo	Eurostat: Annual detailed enterprise statistics for services
Empregos relacionados à Economia Circular	Eurostat

Fonte: Produção Própria

O envolvimento dos cidadãos, a mudança de comportamento e as normas sociais são essenciais para o sucesso de uma transição circular da Economia. Isso significa que as pessoas participam de novas formas de consumo (compartilhamento, sistemas de serviços e maior disposição de pagamento pela durabilidade), reutilização (exigindo mudanças de mentalidade quanto a reparos e reformas) e descarte (EUROPEAN COMISSION, 2019).

Como Indicadores Sociais, apresentam-se os Hábitos de Compra de Remanufaturados, os Hábitos de Uso Compartilhado e a quantidade de Trabalhadores empregados em atividades de reparo e/ou relacionados à Economia Circular.

Para representar a Dimensão Econômica (Tabela 12), foi escolhido PIB *per capita* e Produtividade de Recursos.

Tabela 12: Indicadores Econômicos

Dados	**Fonte**
Produtividade de Recursos	Eurostat
PIB *per capita*	World Bank

Fonte: Produção Própria

Para o primeiro indicador, Produtividade de Recursos, sua definição é dada pela quantidade total de materiais utilizados diretamente por uma economia, ou o Consumo Interno de Material em relação ao Produto Interno Bruto. A produtividade dos recursos fornece uma visão sobre a dissociação entre o uso dos recursos naturais e o crescimento econômico e é utilizada como um indicador de desenvolvimento sustentável da União Europeia para a avaliação de políticas (EUROSTAT, 2019).

O PIB *per capita* foi incluído como um indicador clássico de desempenho econômico, apesar de não refletir desenvolvimento econômico, é em sua medida *per capita* um bom medidor de resultados econômicos de uma nação.

A partir das informações obtidas, foi possível a identificação e coleta de indicadores de Economia Circular pertencentes a cada uma das dimensões, com possibilidade de serem agregados matematicamente, de forma a retratar cada um dos conceitos multidimensionais que compõem o IC.

Resultados da agregação dos subindicadores

Nesta seção, os subindicadores de Economia Circular e Sustentabilidade serão reunidos em um único indicador composto. O estudo que está sendo relatado, foi relacionado a vinte e dois países pertencentes à União Europeia durante um período de oito anos. Isso possibilitou a formação de um banco de dados com um total de 176 unidades. Classicamente, de acordo com Nunamaker (1985), a soma das observações que compõem o conjunto de dados que será submetido à ferramenta Análise Envoltória de Dados deverá ser superior ao triplo do número de variáveis consideradas no modelo.

No caso desse trabalho, foram consideradas como variáveis o total de nove indicadores (saídas), e como apresentado na seção de método do trabalho, uma variável adicional de entrada no valor de 1, como é ilustrado pela Figura 14.

Figura 14: Representação gráfica da modelagem utilizada

Fonte: Produção Própria

Cada país em cada ano, como dito, será considerado uma unidade tomadora de decisão, sob a qual recai a análise da ferramenta, e os subindicadores serão considerados variáveis de saída (*outputs*) que deverão ser maximizados. Em contrapartida, como entrada nesse "sistema" será considerada uma variável com o valor imutável durante todo o período e para todos os países igual a 1.

A Tabela 13 apresenta os países considerados na amostra, seguidos de sua área total, sua população e sua colocação no *ranking* de Desenvolvimento Humano (IDH).

Tabela 13: Países da União Europeia analisados

País	**População (Milhões) 2020**	**Área km^2**	**Ranking IDH 2020**
Alemanha	83,24	357.588	6
Austria	8,91	83.871	18
Bélgica	11,56	30.688	14
Bulgária	6,92	110.994	56
Croácia	4,04	56.594	43
Dinamarca	5,83	43.094	10
Eslováquia	5,46	49.034	39
Eslovênia	2,10	20.273	22
Espanha	47,35	505.990	25
Estônia	1,33	45.338	29
Finlândia	5,53	338.440	11
França	67,39	543.940	26
Grécia	10,72	131.957	32
Holanda	17,44	41.543	8
Hungria	9,75	93.025	40
Itália	59,55	301.230	29
Letônia	1,90	64.589	37
Lituânia	2,79	65.300	34
Polônia	37,95	322.575	35
Portugal	10,31	92.212	38
Romênia	19,59	238.397	49
Suécia	10,35	528.447	7
Média	19,55	184.778,14	28
Desvio padrão	23,70	175.797,96	14
Máximo	83,24	543.940,00	56
Mínimo	1,33	20.273,00	6

Fonte: Eurostat, PNUD

O conjunto de dados, composto pelos 22 países, segundo dados de 2020 apresentam população média de 19,55 milhões de habitantes, figurando como o país mais populoso do grupo a Alemanha, com 83,24 mi de habitantes, enquanto que o menos populoso, a Estônia com

1,33 mi de habitantes. Em relação ao Desenvolvimento Humano, a colocação média dos países dentro do *ranking* que compara 189 países em seu total, é 28. O país com maior colocação em IDH é a Alemanha, ocupando a sexta posição, enquanto que a pior colocação é ocupada pela Bulgária, que figura na quinquagésima sexta posição.

Análise das variáveis

Nesta seção são apresentadas as principais estatísticas relacionadas aos subindicadores (variáveis) que compõem o modelo de Indicador Composto proposto. Tanto na forma normalizada, quanto na forma bruta, tais informações possuem importância para a melhor compreensão dos resultados após a aplicação do modelo.

Indicadores brutos

O Indicador Composto, como visto na seção referente ao método, possui 9 subindicadores. A Tabela 14 apresenta as principais estatísticas de cada uma dessas variáveis em sua forma bruta, relativas aos 22 países durante o período de 8 anos considerados nessa amostra.

Tabela 14: Estatística descritiva dos dados brutos

	Área Florestal (%)	Índice de Exploração de água (%)	Emissões de Gases Estufa (equiv. mil ton. CO^2)	Participação de Energias Renováveis (% total)	Taxa de Reciclagem (%)	Empregos Economia Circular (% total)	Investimentos Economia Circular (mi €)	Produtividade de Recursos (PPS* por kg)	PIB real per capita (€)
Máximo	73,74	39,37	883.920,00	53,92	67,20	2,89	3.845,90	4,63	48.450,00
Mínimo	10,84	1,19	11.260,00	4,52	8,30	1,10	33,40	0,30	5.320,00
Média	37,98	5,40	157.313,47	22,17	35,63	1,80	591,18	1,63	22.548,69
Desvio Padrão	15,88	7,33	202.260,63	11,08	15,17	0,42	799,37	0,99	12.411,14
Mediana	34,47	2,12	63.510,00	20,26	34,45	1,76	232,30	1,21	17.635,00

Fonte: Produção Própria

A Tabela 14 evidencia a magnitude e unidades de medida diferentes entre si, tais como as medidas de dispersão e médias. Os valores máximos e mínimos dos 9 subindicadores utilizados evidenciam a amplitude das variáveis (subindicadores), para o grupo estudado.

A área florestal apresentou média de 37,98% da área total para a amostra utilizada, enquanto que o menor valor foi de 10,84% (Holanda) e o valor máximo observado foi de 73,74% (Finlândia).

Para o índice de exploração de água, a média foi de 5,4%, o país que apresentou maior valor para tal subindicador foi a Suécia (39,37%) enquanto que o menor valor para esse índice pertence à Eslováquia (1,19%).

A emissão de gases causadores de efeito estufa possui tanto magnitude quanto amplitude muito superiores aos índices anteriores. O país que foi responsável pela maior emissão foi a Alemanha e o país que menos emitiu foi a Letônia.

Em relação à participação de energia provenientes de fontes renováveis em sua produção total de energia, a média foi de 22,17%, e o país que possui maior participação de energias renováveis em sua matriz foi a Suécia (53,92%). Além disso, o país que menos utiliza fontes renováveis de energia elétrica é a Holanda (4,52%).

A taxa de reciclagem de resíduos sólidos municipais apresenta a porcentagem média de 35,63%. O país que mais recicla resíduos sólidos é a Alemanha (67,2%), enquanto que o menor índice de reciclagem de resíduos sólidos pertence à Croácia no ano de 2011 (8,3%). Vale ressaltar que o índice de reciclagem da Croácia, nos anos posteriores, ultrapassou 14%.

Em relação aos índices que apontam diretamente para a circularidade (Empregos relacionados à Economia Circular, Investimentos em setores ligados à Economia Circular e Produtividade de Recursos), os países que apresentaram valores máximos na amostra são Hungria (empregos relacionados à Economia Circular), Croácia (Investimentos em Economia Circular) e Holanda (Produtividade de Recursos). Os menores valores para esses indicadores são a Bulgária (Produtividade de Recursos), Dinamarca (Investimentos em Economia Circular) e Áustria (Empregos relacionados à Economia Circular).

Por fim, a medida de desempenho econômica mais usual, o Produto Interno Bruto *per capita* apresentou maior valor para Dinamarca (valor aproximadamente quatro vezes a média), enquanto que o valor mínimo pertence à Bulgária (valor menor que 25% da média da amostra).

Uma característica importante para o grupo de países estudado é que as medianas referentes ao Índice de Exploração de água, Emissões de gases estufa e Investimentos em Economia Circular são muito menores que as médias dessas variáveis. Isso significa que existem países que possuem valores muito altos considerados discrepantes com relação aos outros, que podem estar elevando os valores médios desses indicadores.

Indicadores normalizados

A normalização das variáveis conforme descrito na seção referente ao Método modificam as características das variáveis, deixando-as mais próximas em relação à dimensões e magnitudes, como pode ser notado na Tabela 15, que apresenta as estatísticas descritivas dos dados normalizados das variáveis consideradas na elaboração do Indicador Composto.

Tabela 15: Estatística descritiva dos dados normalizados

	Área Florestal	Índice de Exploração de água	Emissões de Gases Estufa	Participação de Energias Renováveis	Taxa de Reciclagem	Empregos Economia Circular	Investimentos Economia Circular	Produtividade de Recursos	PIB real *per capita*
Máximo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média	0,43	0,13	0,17	0,36	0,46	0,39	0,15	0,31	0,40
Desvio Padrão	0,25	0,19	0,23	0,22	0,26	0,24	0,21	0,23	0,29
Mediana	0,38	0,05	0,06	0,32	0,44	0,37	0,05	0,21	0,29

Fonte: Produção Própria

Após a normalização, os dados apresentam mesma escala, facilitando a compreensão e tornando possível o exercício de comparação entre as variáveis. Pode ser observado que os desvios possuem valores parecidos entre todas as variáveis, porém o padrão de distância entre as médias e medianas das variáveis Emissões de gases estufa, índice de exploração de água e Investimentos em Economia Circular continuam na mesma proporção.

Construção das janelas

Como cada país em cada ano foi considerado como sendo uma unidade distinta de análise, a análise DEA foi realizada adotando o método de análise de janelas. A análise de janelas em DEA é baseada em uma perspectiva dinâmica, considerando a mesma DMU em diferentes períodos de tempo como DMU´s totalmente diferentes.

Para tanto é aplicado o método de Média Móvel, para escolher diferentes conjuntos de referência para determinar a eficiência relativa de cada DMU. Ou seja, quando a janela definida desliza uma vez, o primeiro período de cada janela será excluído e um novo período será adicionado ao mesmo tempo. De acordo com Halkos e Tzeremes (2009), a vantagem deste método é a possibilidade de descrever a mudança dinâmica do valor índice relativo retornado pela ferramenta de cada DMU de forma abrangente, tanto horizontal como verticalmente. Outra

vantagem para esta prática, recai sobre o fato de que o número de unidades a serem analisadas é ampliado, aumentando o poder discriminativo.

Para o cálculo do número de janelas e sua amplitude, Cooper *et al*. (2000) propõem um modelo prático, como segue abaixo nas Equações (26) e (27).

$$W = k - p + 1 \qquad (26)$$

$$p = {}^{(k+1)}/_{2} \qquad (27)$$

Onde:

W é o número de janelas;
k é o número de anos;
p é a amplitude da janela.

No caso deste trabalho, o período (2011-2018) analisado corresponde a 8 anos, logo temos que:

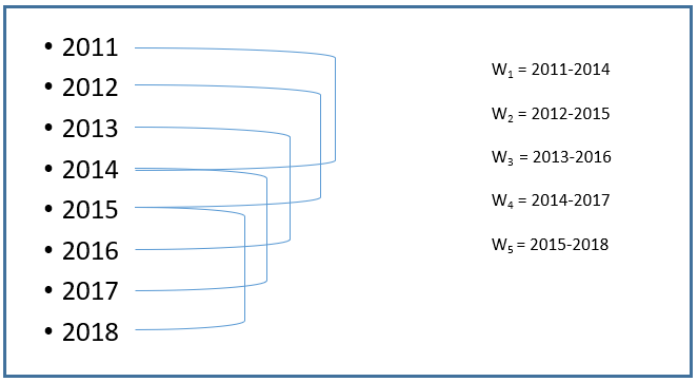
$$p = {}^{(8+1)}/_{2} = 4{,}5 \qquad (28)$$

Dessa forma, temos:

$$W = 8 - 4{,}5 + 1 = 4{,}5 \qquad (29)$$

Logo, de acordo com as Equações (28) e (29), assumiremos para esse trabalho 5 janelas com amplitude de 4 anos cada, como a Figura 15 ilustra.

Figura 15: Janelas e suas amplitudes



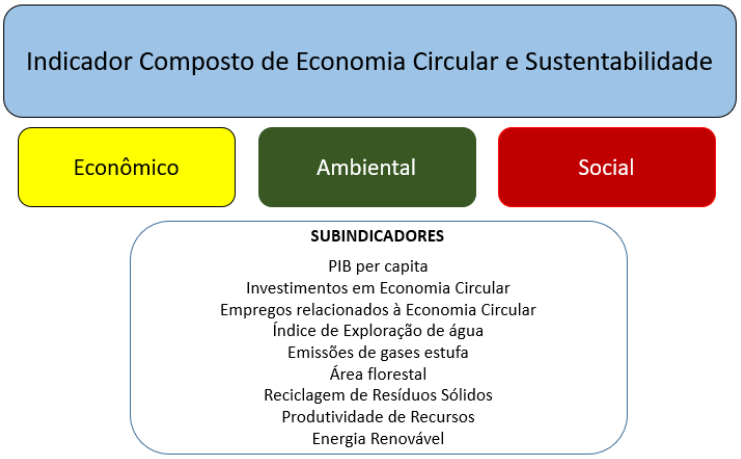
Fonte: Produção Própria

Os 9 anos considerados (2011-2018) foram divididos em 5 janelas, contendo 4 anos cada, e seguindo o método proposto por Halkos e Tzeremes (2009), para cada janela seguinte, o ano mais defasado é retirado enquanto um ano mais recente é adicionado na próxima janela compondo o conjunto de janelas a seguir: (2011-2014); (2012-2015); (2013-2016); (2014-2017) e (2015-2018). Após a aplicação do modelo em cada uma das janelas, é extraída a média simples de cada país dentro de cada janela, que será o valor do índice considerado para análise.

Aplicação DEA-BoD

A modelagem proposta na seção de métodos foi aplicada para os dados normalizados em razão de suas vantagens em relação a escalas, desvios e magnitudes. A representação gráfica da composição do Indicador Composto sugerido e seus subindicadores são ilustrados pela Figura 16.

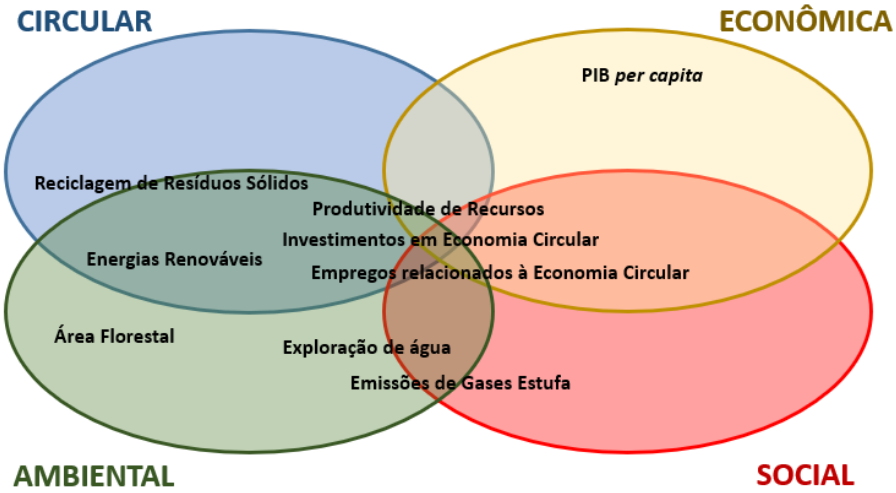
Figura 16: Subindicadores considerados



Fonte: autor

Note-se que inicialmente, durante a etapa de buscas por indicadores de Economia Circular que denotassem sustentabilidade, esperava-se encontrar subindicadores que representassem apenas uma dimensão da sustentabilidade cada um. Porém observa-se, em consonância com os objetivos de sustentabilidade que são interligados, os indicadores podem representar simultaneamente mais de uma dimensão. Dessa forma, a Figura 17 é a representação gráfica que melhor ilustra o indicador composto de economia circular e sustentabilidade.

Figura 17: Indicador Composto de Economia Circular e Sustentabilidade



Fonte: autor

Sob essa representação, o indicador passa a ter quatro dimensões: Circular, Ambiental, Econômica e Social. Essas dimensões se interligam e cada subindicador, apesar de possuir um caráter mais social, ambiental, econômico ou circular, acaba por influenciar outras dimensões, mesmo que indiretamente.

A aplicação do modelo para todas as janelas retornou os resultados que constam na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16: Resultado do modelo BoD das janelas

	Janelas						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**Média**	**Variância**
Alemanha	0,986	0,991	0,990	0,999	0,998	0,993	0,000
Áustria	0,997	0,998	0,997	0,994	0,995	0,996	0,000
Bélgica	0,941	0,923	0,929	0,925	0,919	0,927	0,000
Bulgária	0,476	0,455	0,474	0,490	0,565	0,492	0,002
Croácia	0,999	0,980	0,975	0,966	0,947	0,973	0,000
Dinamarca	0,992	0,986	0,984	0,990	0,992	0,989	0,000
Eslováquia	0,840	0,875	0,857	0,851	0,795	0,844	0,001
Eslovênia	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000
Espanha	0,835	0,860	0,879	0,862	0,895	0,866	0,001
Estônia	0,855	0,860	0,862	0,874	0,913	0,873	0,001
Finlândia	1,000	0,999	0,999	1,000	1,000	0,999	0,000
França	0,989	0,988	0,993	0,985	0,998	0,991	0,000
Grécia	0,955	0,949	0,927	0,933	0,929	0,938	0,000
Holanda	0,997	1,000	0,977	0,961	0,972	0,981	0,000
Hungria	0,934	0,971	0,981	0,994	0,992	0,974	0,001
Itália	0,974	0,987	1,000	0,994	0,995	0,990	0,000
Letônia	1,000	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	0,000
Lituânia	0,825	0,800	0,856	0,903	0,941	0,865	0,003
Polônia	0,835	0,800	0,819	0,824	0,831	0,822	0,000
Portugal	0,713	0,733	0,762	0,743	0,768	0,744	0,001
Romênia	0,602	0,607	0,541	0,523	0,560	0,567	0,001
Suécia	1,000	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,000

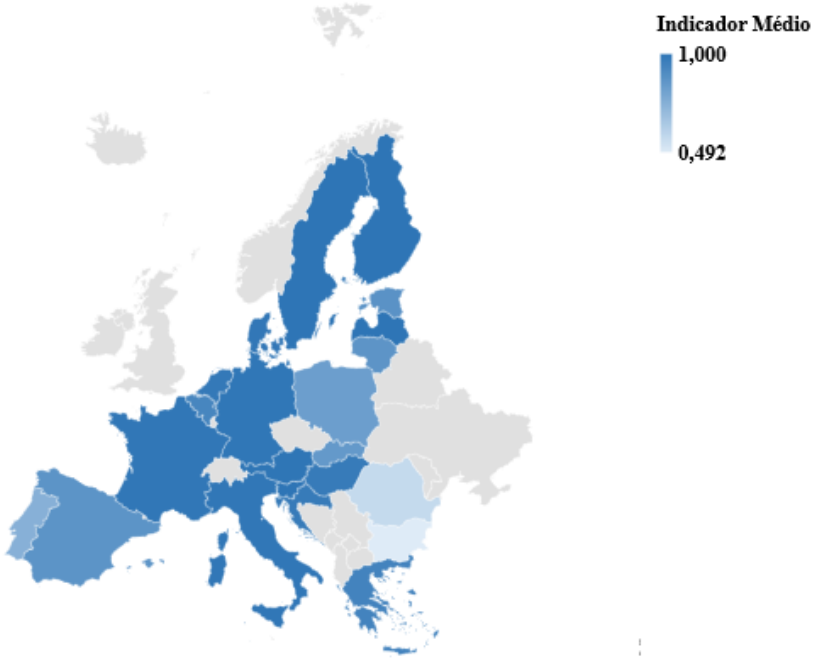
Fonte: autor

A observação das variâncias apresentada na Tabela 16 permite afirmar que os índices variaram nada ou bem pouco ao longo das janelas consideradas, possibilitando avaliar que nenhum dos países da amostra apresentou decrescimento ou crescimento bruscos ao longo da linha do tempo considerada.

Com o intuito de estabelecer um *ranking* dos valores obtidos para o indicador composto médio ao longo das janelas, a Figura 18, construída com informações contidas na Tabela 25, apresenta, de forma decrescente, os países, sendo que quanto maior o valor para o indicador, mais eficiente o país é em termos de circularidade e sustentabilidade.

Figura 18: *Ranking* de Circularidade e Sustentabilidade médias

Ranking	País	Indicador Médio
1	Eslovênia	1,000
2	Letônia	1,000
3	Finlândia	0,999
4	Suécia	0,999
5	Áustria	0,996
6	Alemanha	0,993
7	França	0,991
8	Itália	0,990
9	Dinamarca	0,989
10	Holanda	0,981
11	Hungria	0,974
12	Croácia	0,973
13	Grécia	0,938
14	Bélgica	0,927
15	Estônia	0,873
16	Espanha	0,866
17	Lituânia	0,865
18	Eslováquia	0,844
19	Polônia	0,822
20	Portugal	0,744
21	Romênia	0,567
22	Bulgária	0,492



Fonte: autor

De acordo com as médias obtidas para os índices calculados para cada janela, os países que apresentaram maiores *scores* que os restantes foram Eslovênia e Letônia, seguidos por Finlândia, Suécia e Áustria. Os países que obtiveram menores valores para indicador foram Bulgária e Romênia, com uma pontuação bem distante dos próximos Portugal e Polônia.

A composição de janelas permite avaliar, como dito anteriormente, a evolução dos países ao longo do tempo. A Tabela 17 apresenta a variação de cada país dentro do *ranking* de cada janela.

Tabela 17: Colocação de cada país em cada janela

	Janelas				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Alemanha	10	7	8	5	5
Áustria	6	6	6	8	7
Bélgica	13	14	13	14	15
Bulgária	22	22	22	22	21
Croácia	5	11	12	11	12
Dinamarca	8	10	9	9	9
Eslováquia	16	15	17	18	19
Eslovênia	1	4	1	1	1
Espanha	17	17	15	17	17
Estônia	15	16	16	16	16
Finlândia	1	3	3	1	1
França	9	8	7	10	5
Grécia	12	13	14	13	14
Holanda	7	1	11	12	11
Hungria	14	12	10	6	10
Itália	11	9	1	7	8
Letônia	1	1	5	1	1
Lituânia	19	18	18	15	13
Polônia	18	19	19	19	18
Portugal	20	20	20	20	20
Romênia	21	21	21	21	22
Suécia	1	4	3	1	1

Fonte: autor

Porém como pode ser visto, as janelas apesar de permitirem uma análise temporal, apresentam dados com pouca ou nenhuma variação, isso se dá pelo fato de a formação das janelas ser realizada a partir de médias móveis, fazendo com que as oscilações mais bruscas sejam amenizadas, evidenciando de forma mais eficiente a existência (ou não) de uma tendência (razão pela qual é necessária a análise temporal). De maneira a complementar a análise, o modelo foi executado nos dados integrais, sem formação de janelas.

Tal aplicação é conhecida pelo nome de Metafronteira, e consiste na aplicação do modelo DEA em todos os dados. O resultado da aplicação segue na Tabela 18.

Tabela 18: *Ranking* do Indicador Composto para Meta fronteira

Ranking	País	Índice médio
1	Finlândia	0,998750
2	Eslovênia	0,998250
3	Suécia	0,997500
4	Letônia	0,997250
5	Áustria	0,989875
6	França	0,984625
7	Alemanha	0,978125
8	Itália	0,975500
9	Dinamarca	0,959125
10	Hungria	0,951500
11	Holanda	0,949375
12	Grécia	0,923125
13	Croácia	0,902125
14	Bélgica	0,893750
15	Estônia	0,879750
16	Lituânia	0,832000
17	Espanha	0,819750
18	Polônia	0,816500
19	Eslováquia	0,807625
20	Portugal	0,720000
21	Romênia	0,555125
22	Bulgária	0,488125

Fonte: autor

Como se pode notar, os resultados da Metafronteira em pouco diferem dos resultados das janelas, como esperado por conta das poucas variações que ocorreram, ao longo das janelas, durante o período analisado.

Discussão dos resultados

Dado que objetivo principal do presente trabalho foi o desenvolvimento de um indicador composto de Economia Circular e Sustentabilidade capaz de criar um *ranking* para regiões, nesta seção os resultados da aplicação do método e os resultados provenientes de sua aplicação serão discutidos. Para iniciar a discussão dos resultados, será apresentada a Tabela 19 com os 6 países com os maiores índices de circularidade e sustentabilidade, seguidos de seus subindicadores médios.

Tabela 19: Valores médios dos subindicadores seis melhores países

Ranking	País	Área Florestal	Índice de exploração de água	Emissões gases estufa	Participação Energia renovável	Reciclagem resíduos sólidos	Empregos Economia Circular	Investimentos Economia Circular	Produtividade de Recursos	PIB per capita
1	Eslovênia	61,87	10,14	17.421,25	22,00	46,84	1,82	142,11	1,45	18.278,75
2	Letônia	54,54	1,66	11.497,50	37,32	22,65	1,86	156,63	0,98	10.556,25
3	Finlândia	73,60	2,07	57.777,50	37,78	37,31	1,92	963,56	1,20	35.363,75
4	Suécia	68,69	11,39	50.747,50	51,31	47,49	1,57	535,63	1,96	41.960,00
5	Áustria	47,01	2,43	76.847,50	33,04	57,29	1,14	665,09	2,09	36.528,75
6	Alemanha	32,71	2,38	847.896,25	14,51	65,71	2,26	72,54	2,40	34.196,25
	Média	37,98	5,40	157.313,47	22,17	35,63	1,80	591,18	1,63	22.548,69

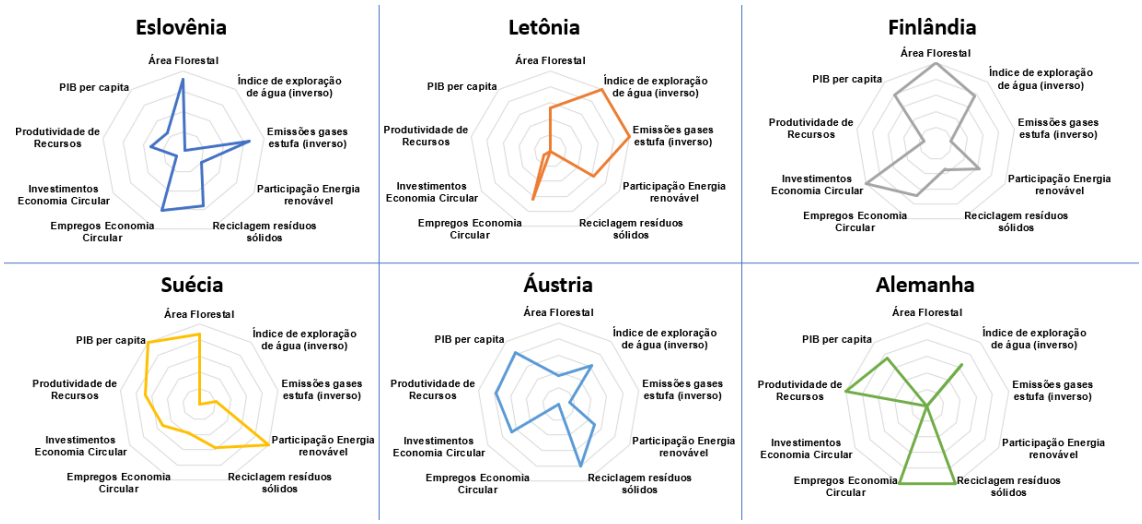
Fonte: autor

Um indicador composto é uma agregação matemática de um conjunto de subindicadores com o intuito de medir conceitos multidimensionais que não podem ser capturados espontaneamente diante de sua complexidade, por vezes indescritíveis por um único indicador, condensando as características de um sistema ou destacando o que está transcorrendo em um determinado (BOYSEN, 2002).

A Tabela 19 apresenta os 6 países mais bem colocados em termos de circularidade e sustentabilidade. Como pode ser obervado, a utilidade da composição dos indicadores facilita a interpretação de qual país possui maior excelência, por permitir avaliar uma única medida. O país mais bem colocado no grupo foi a Eslovênia, porém pode ser notado que este país não possui maior área de florestas, está longe de ser o país com menor índice de exploração de água (valor médio de aproximadamente duas vezes a média), tampouco é o país que emite menos gases estufa, não sendo considerado um *outlier* em nenhum os subindicadores apresentados, porém a combinação dos subindicadores o conduziu para excelente colocação em termos de circularidade e sustentabilidade.

A Figura 19 apresenta todos os subindicadores dos 6 países mais bem colocados. Quanto mais próximo da borda, melhor para cada indicador. Os indicadores de emissão de gases causadores do efeito estufa e índice de exploração de água estão invertidos, dada sua natureza de “quanto menor, melhor”.

Figura 19: Subindicadores dos países com maiores valores para o Indicador Composto



Fonte: autor

Como se pode observar, a Eslovênia possui um padrão de baixa emissão de gases estufa, porém alto índice de exploração de água, pouca participação em energia de fontes renováveis, baixos investimentos em Economia Circular. Os indicadores que possuem melhores valores são Área florestal, empregos em setores circulares e reciclagem de resíduos sólidos.

De acordo com Vesna *et al*. (2021) a sustentabilidade é um dos valores fundamentais da Eslovênia, que foi proclamada o país mais sustentável do mundo no ano de 2017. A Eslovénia iniciou uma transformação circular estratégica e sistêmica em 2016, após o lançamento do Pacote de Economia Circular, adotado pela Comissão Europeia em 2015.

Como pode ser visto na Tabela 19 e na Figura 19 o indicador de reciclagem de materiais sólidos possui valor relativamente significante, e como afirma Vesna *et al*. (2021), o ciclo de materiais sólidos passou a ser incorporado como uma das prioridades na estratégia de desenvolvimento daquele país. Um dos primeiros passos dados em direção à circularidade foi o estabelecimento de centros de reciclagem e sistema de coleta seletiva de resíduos, que em poucos anos levou a Eslovênia ao topo europeu em termos de taxa de reciclagem. Além disso, devido às medidas efetivas de redução e reciclagem de resíduos, a capital eslovena tornou-se a primeira capital zero resíduos da Europa e foi intitulada Capital Verde da Europa em 2016 (VESNA *et al*., 2021).

O governa da Eslovênia publicou em 2018 o Roteiro para a Economia Circular na Eslovênia, que tem como objetivo comunicar diretrizes para que este país se torne um líder em EC na região. Projetado por meio de uma abordagem inclusiva e multissetorial, ele identifica

quatro setores prioritários e indica as melhores práticas. O Roteiro apresenta o Triângulo Circular, um modelo que une três elementos inseparáveis – Economia Circular (modelos de negócios), Mudança Circular (políticas governamentais) e Cultura Circular (cidadãos), três aspectos interdependentes que estão no centro da mudança sistêmica de linear para uma economia circular na Eslovênia.

As iniciativas circulares e sustentáveis não ocorrem apenas a nível governamental na Eslovênia. Em seu trabalho, Hojnik *et al*. (2020) com base em uma pesquisa com consumidores eslovenos, constatam que o compromisso ambiental destes, a percepção de produtos ecológicos afeta positivamente a intenção de compra, que por sua vez afeta positiva e significativamente a compra de produtos ecológicos pelos consumidores que possuem percepção de compromisso ambiental com fortes intenções de compra verde.

Como pode ser visto, no caso da Letônia, segundo país com maior indicador, seus melhores subindicadores são parcela de energia provenientes de fontes renováveis, área florestal e empregos relacionados à Economia Circular. Ao contrário da Eslovênia, a Letônia apresenta valores relativos de reciclagem de resíduos sólidos muito baixos. Dos 6 países que obtiveram maiores índices de circularidade e sustentabilidade (Letônia está na segunda colocação), este país é o que ostentou o menor valor para tal indicador.

Em relação a estes baixos valores de reciclagem de resíduos sólidos, Grigoryan e Borodavkina (2017) identificaram que as taxas de reciclagem da Letônia, Lituânia (17ª colocação no *ranking* deste trabalho) e Estônia (15ª colocação) são significativamente inferiores às de outros países europeus. De acordo com seu trabalho, o grande problema é que os países bálticos dependem fortemente do apoio financeiro da UE, e um aumento no financiamento contribuirá para a implementação de tecnologias de EC naquela região.

Sobre a participação de energia proveniente de fontes renováveis, Rubins e Pilvere (2017) apresentou uma análise do papel e os resultados da produção de fontes de energia renovável na Letônia. O governo deste país promoveu o uso de fontes de energia renovável (FER) por cogeração de biomassa e usinas de energia, bem como usinas de cogeração de biogás por meio de vários instrumentos de política de apoio. Sobre o desenvolvimento sustentável da cogeração de biomassa neste país, Prodanukus *et al*. (2016) argumenta que a biomassa, incluindo os resíduos florestais, possui um potencial significativo na produção de energia na Letônia.

A Finlândia, por sua vez, figura na terceira colocação no *ranking* estabelecido pelo cálculo do índice médio proveniente da aplicação das janelas; com a aplicação do índice para

toda a amostra, sob a modalidade chamada meta fronteira, este país apresentou o maior índice dentre os países estudados dentro do intervalo de tempo observado.

De fato, o padrão demonstrado pela Figura 22 sobre os dados da Finlândia possui um formato mais “aberto”; para os indicadores que são interpretados como “quanto menor, melhor” este país apresenta valores relativos baixos (índice de exploração de água e emissão de gases estufa), porém para reciclagem de resíduos sólidos e produtividade de recursos, os valores relativos são baixos.

De acordo com Jarvenpaa *et al*. (2021), neste país a nova estratégia de EC amplia a facilitação do fenômeno de simbiose industrial e a utilização de dados, tornando-as como principais ações para melhorar a sustentabilidade e o crescimento verde.

A Finlândia foi o primeiro país do mundo a lançar um roteiro para uma EC em 2016 em cooperação com todos os ministérios relevantes, o setor empresarial e outras partes interessadas. De acordo com Berg *et al*. (2018), a Finlândia pretende ser pioneira em EC até 2025 por meio de projetos implementados em áreas de foco identificadas, com base nos pontos fortes nacionais da Finlândia.

O valor do Indicador composto médio da Suécia, que ficou em terceiro lugar no *ranking* de circularidade e sustentabilidade apresentado neste trabalho é um pouco menor. Porém a Suécia apresenta o maior PIB *per capita* dos seis países mais bem posicionados no *ranking*; empregos e investimentos relacionados à Economia Circular apresentaram valores baixos relativos aos outros cinco países, produtividade de recursos menor apenas que Áustria (5ª) e Alemanha (6ª), porém com alta participação de energia proveniente de fontes renováveis (a maior dentre os 6 países líderes do *ranking*). Um ponto negativo é o índice de exploração de água, que é o maior.

Segundo Almén *et al*. (2021), em relação ao mercado de reparos, que segundo os autores é um grande ator em direção à circularidade, até agora a Suécia adotou apenas algumas políticas, principalmente por meio de isenções fiscais para o setor de reparos que foram implementadas no ano de 2017, e que iniciativas semelhantes a outros países em relação ao setor de reparos poderiam ser tomadas, pois há potencial para este país ser pioneiro na criação de uma sociedade mais eficiente nestes termos.

A Suécia possui um projeto em andamento para tornar as cidades mais sustentáveis, pois o país é pioneiro no planejamento de bairros ecológicos – da reciclagem e reutilização do lixo ao tráfego urbano, da autossuficiência em energia à ampliação dos espaços verdes, com o objetivo de limitar as emissões de CO_2 e a degradação ambiental. De acordo com Kramers *et al*. (2016) que apresentou um estudo de caso na cidade de Estocolmo no projeto de

desenvolvimento urbano do *Stockholm Royal Seaport* (SRS), concluindo que sustentabilidade pode ser considerada na fase de planejamento de novos empreendimentos urbanos e, em última análise, como uma administração municipal pode governar uma cidade em direção a uma Cidade Inteligente Sustentável.

Como pode ser notado acerca do padrão dos subindicadores da Áustria, este país possui baixo índice de exploração de água, baixo índice de emissão de gases estufa, e possui alta taxa de reciclagem de resíduos sólidos, ficando atrás apenas da Alemanha. A produtividade de recursos e os investimentos em setores de economia circular são relativamente significativos, porém em relação aos empregos relacionados a economia circular, este país apresenta o menor valor.

Em seu trabalho, Jacob *et al*. (2018) desenvolveram e aplicaram uma estrutura de monitoramento macro da economia austríaca, pois de acordo com os autores, as análises até então se concentravam mais nos níveis micro e meso. Foi constatado que a Áustria apresenta uma participação de 8,5% de matérias-primas secundárias em materiais processados (taxa de ciclagem socioeconômica de entrada), enquanto a participação de materiais reciclados nas saídas intermediárias foi de 16,8% (Taxa de ciclagem socioeconômica de saída). Mayer *et al*. (2019) explicam que as taxas de ciclagem socioeconômica medem a contribuição de materiais secundários para o processamento de materiais (taxa de ciclagem socioeconômica de entrada) e a parcela que é desviada para ser usada como material secundário (taxa de ciclagem socioeconômica de saída).

De acordo com Wang *et al*. (2020) a taxa de ciclagem socioeconômica de entrada e a taxa de ciclagem socioeconômica de saída são os principais indicadores para monitorar a reciclagem de materiais sob as perspectivas do lado da entrada e do lado da saída, respectivamente.

Marino e Pariso (2020) com o objetivo de comparar os desempenhos dos até então 28 membros da UE durante o período 2006-2016, em seu progresso na consecução dos objetivos da Economia Circular, correlacionam dados de Crescimento de Produtos Internos em Padrões de Poder de Compra com indicadores quantitativos que permitem avaliar o grau de transição alcançado pelos estados membros na implementação da EC. A análise mostra que diferentes estratégias foram adotadas pelos 28 Estados-Membros da UE e que apenas algumas delas poderiam ser consideradas eficazes para enfrentar os desafios da economia circular na União Europeia.

A Áustria mostra um alto perfil de EC focado principalmente na inovação ambiental ("*Green Tech*" ou "*Clean Tech*"). De fato, o país está orientado para uma melhoria crescente

da reciclagem de resíduos urbanos e para a promoção de iniciativas de apoio à transição. Apesar disso, uma Estratégia de Economia Circular Austríaca eficaz deve incluir objetivos destinados a reduzir o uso de matérias-primas e a produção de resíduos, porque o país está entre os maiores produtores de resíduos. O plano nacional de EC do país está focado neste tópico e nas preocupações ambientais, mas negligencia as oportunidades econômicas que podem ser oferecidas pela EC (MARINO e PARISO, 2020).

Dentre os seis países, a Alemanha – sexta colocada no *ranking* – apresenta a menor área florestal, a maior emissão de gases estufa, baixíssima participação de fontes renováveis em sua matriz energética assim como investimentos em EC. Porém possui alta taxa de reciclagem de resíduos sólidos, maior taxa de empregos relacionados à EC e maior produtividade de recursos.

Em relação ao nível de empregos de atividade ligadas à EC, Horbach e Rammer (2020) analisaram as dimensões econômicas e sociais investigando se as empresas com inovações de EC apresentam melhor ou pior desempenho em termos de crescimento de vendas e emprego. Como resultado, demonstram que as inovações de EC estão positivamente ligadas ao volume de negócios e ao crescimento do emprego. Embora não haja impacto estatisticamente significativo na produtividade do trabalho, ao mesmo tempo, as empresas com inovações de EC apresentam uma situação financeira significativamente melhor.

Segundo Wilts (2016), a comparação dos potenciais benefícios da economia circular com as medidas tomadas até agora para implementá-la sublinha que a Alemanha ainda não fez pleno uso das oportunidades oferecidas. Comparativamente poucas empresas ou regiões alemãs se valem do princípio da EC como diferencial, ou ainda como apontou Mckinsey (2016) “a gestão de recursos continua a focar na observância dos limites e na gestão da eficiência energética”.

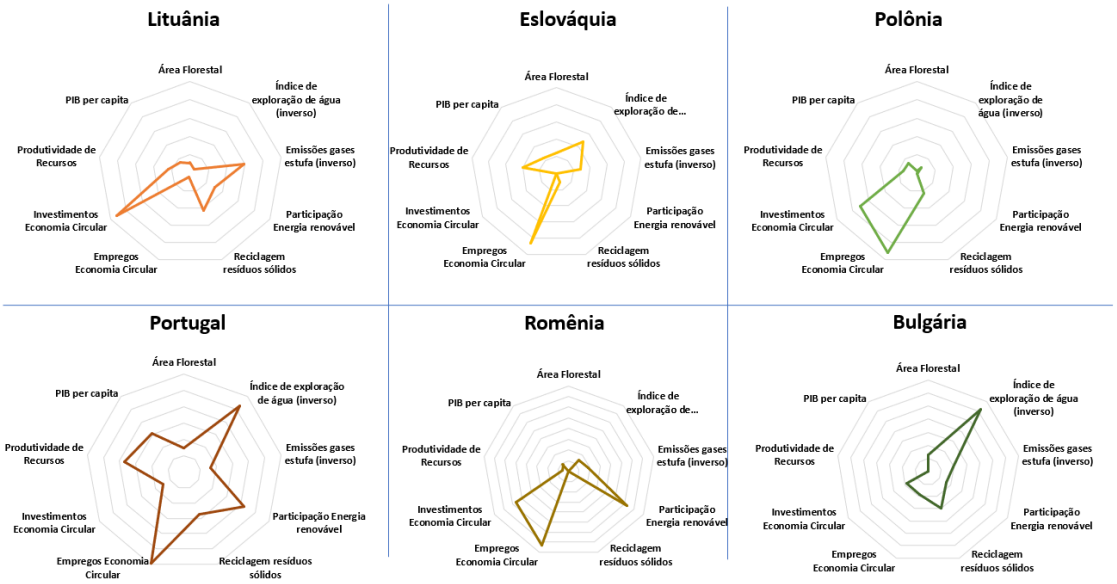
Em relação à reciclagem de resíduos sólidos, Nelles *et al*. (2016) afirmou que a política alemã de gestão de ciclos fechados visa transformar a gestão de resíduos em uma gestão de recursos. A percepção de que os resíduos podem ser uma fonte útil de matérias-primas e energia não é uma novidade, pois metais, vidro e têxteis foram coletados antes e colocados em novos usos. A política de gestão de resíduos, que foi adaptada na Alemanha nos últimos 20 anos, baseia-se em ciclos fechados e atribui responsabilidades de descarte aos fabricantes e distribuidores de produtos. Segundo seu trabalho, isso tornou as pessoas ainda mais conscientes da necessidade da separação de resíduos, levou à introdução de novas tecnologias de descarte e aumentou as capacidades de reciclagem. Atualmente cerca de quatorze por cento das matérias-primas utilizadas pela indústria alemã são resíduos recuperados.

Como citado, a razão para a introdução do subindicador produtividade de recursos entre os que formam o indicador composto é considerar a dimensão do *decouplig* dos países analisados. Porém, Weidmann *et al*. (2015) explica que as métricas de produtividade de recursos usadas atualmente pelos governos sugerem que alguns países desenvolvidos aumentaram o uso de recursos naturais a uma taxa mais lenta do que o crescimento econômico (*decouplig* relativo) ou até conseguiram usar menos recursos ao longo do tempo (*decoupling* absoluto).

Com a utilização da *Material footprint* (MF), um indicador de uso de recursos baseado no consumo, foi observado o contrário: as conquistas na dissociação nas economias avançadas são menores do que o relatado ou até inexistentes, pois o uso de recursos não domésticos pelos países é, em média, cerca de três vezes maior do que a quantidade física de bens comercializados, isto é, à medida que a riqueza cresce, os países tendem a reduzir sua porção doméstica de extração de materiais por meio do comércio internacional, enquanto a massa geral de consumo de materiais geralmente aumenta WEIDMANN *et al*., 2015).

A Figura 20 apresenta todos os subindicadores dos 6 países piores colocados. Quanto mais próximo da borda, melhor para cada indicador. Os indicadores de emissão de gases causadores do efeito estufa e índice de exploração de água estão invertidos, dada sua natureza de “quanto menor, melhor”.

Figura 20: Subindicadores dos países com menores valores para o Indicador Composto



Fonte: autor

Dentre os seis países piores colocados no *ranking* de Economia Circular e Sustentabilidade, a Lituânia apresentou a 17ª colocação. Seu padrão é caracterizado, apesar da baixa emissão de gases causadores de efeito estufa, por baixos *scores* em todos os outros subindicadores, com exceção de Investimentos em setores ligados à Economia Circular, que apresenta valor próximo ao da Finlândia.

O mesmo ocorre com a Eslováquia, que dentre todos os subindicadores apresentados, apenas empregos relacionados à EC revelou valor superior à média, inclusive superior aos valores demonstrados pelos melhores colocados, ficando atrás apenas da Alemanha, dentre aqueles.

A Polônia, por sua vez, possui altos valores tanto para empregos relacionados à EC, quanto para investimentos relacionados à EC, porém para os outros subindicadores os valores apresentados foram muito baixos.

De todo os países apresentados, como pode ser notado observando a Figura 23, Portugal é o país, dentro os piores colocados, que apresenta um padrão mais "aberto". Seu subindicador de emissões de gases é relativamente baixo, possui baixo índice de exploração de água, porém sua área de florestas apresenta valor abaixo da média e apesar de possuir um PIB *per capita* superior aos demais países apresentados aqui como piores colocados, sua taxa de investimentos em EC só é superior a da Eslováquia.

E, por fim, Romênia e Bulgária, os dois últimos colocados no *ranking* com apresentação de valores baixos para todos os subindicadores, com exceção da Romênia que possui altos valores para investimentos e empregos relacionados à EC e participação de energia provenientes de fontes renováveis acima da média dos países analisados.

Com o objetivo de discutir os resultados referentes aos países em piores colocações no *ranking*, foi realizada uma busca nas bases de dados *Web of Science* com a ideia de apresentar um panorama das publicações acerca destes. A Tabela 20 apresenta o número de publicações encontradas para cada comando de busca utilizado.

Tabela 20: Número de publicações referentes aos temas dos últimos países colocados

País	**Comando**	**Publicações**
Lituânia	*Lithuania* AND "*circular economy*"	0
	Lithuania AND "*sustainable development*"	18
Eslováquia	*Slovak* AND "*circular economy*"	2
	Slovak AND "*sustainable development*"	18
Polônia	*Poland* AND "*circular economy*"	25
	Poland AND "*sustainable development*"	138
Portugal	*Portugal* AND "*circular economy*"	3
	Portugal AND "*sustainable development*"	23
Romênia	*Romania* AND "*circular economy*"	21
Romênia	*Romania* AND "*sustainable development*"	144
Bulgária	*Bulgaria* AND "*circular economy*"	3
Bulgária	*Bulgaria* AND "*sustainable development*"	12

Fonte: autor

Como pode ser visto, são poucas as publicações relacionadas especificamente à Economia Circular para esses países, com exceção de Romênia e Polônia, que apresentam inclusive um grande número de publicações relacionadas ao tema Desenvolvimento Sustentável.

Contudo, alguns governos europeus e autoridades locais estão dando passos na direção da implementação da EC. A Tabela 21 apresenta as diretivas criadas pelos países europeus em direção à EC.

Tabela 21: Iniciativas dos países europeus rumo à Economia Circular

País	**Documento**
Alemanha	*Germany-German Resource Efficiency Programme (ProgRess II)*
Eslovênia	*Roadmap towards the Circular Economy in Slovenia*
Finlândia	*Leading the Cycle Finnish Road Map to a Circular Economy 2016–2025.*
França	*France Unveils Circular Economy Roadmap*
Holanda	*A Circular Economy in the Netherlands by 2050*
Itália	*Towards a Model of Circular Economy for Italy—Overview and Strategic Framework*
Portugal	*Leading the Transition: A Circular Economy Action Plan for Portugal: 2017–2020*

Fonte: autor

Dentre os países que apresentaram essas diretivas, Alemanha, Eslovênia e Finlândia figuraram entre os países com maiores *scores* para o Indicador Composto apresentado neste trabalho, e dentre os últimos, apenas Portugal apresentou uma diretiva. Vale ressaltar que os dados analisados compreendem o período de 2011 a 2018, e a publicação por parte do governo de Portugal de suas diretrizes possui foco de implementação entre os anos de 2017 e 2020.

Dentre as iniciativas governamentais europeias, ainda se verifica planos de ação com nível regional, que seguem apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22: Iniciativas regionais dos países europeus rumo à Economia Circular

País	**Documento**
Bélgica	*Programme Régional En Economie Circulaire 2016–2020. Ministry of Housing, Quality of Life, Environment and Energy of Belgium*
Bélgica	*Circular Flanders Kick-off Statement. Vlaanderen Circulair*
Escócia	*Scotland-Making Things Last: A Circular Economy Strategy for Scotland*
Espanha	*Promoting Green and Circular Economy in Catalonia: Strategy of the Government of Catalonia*
Espanha	*Extremadura 2030: Strategy for a Green and Circular Economy*
França	*White Paper on the Circular Economy of Greater Paris*
Holanda	*Circular Amsterdam*

Fonte: autor

Para todos os países contidos na Tabela 22, apenas Escócia não compôs o conjunto de países analisados no presente trabalho. Dos 22 países analisados, a Bélgica que apresentou duas diretivas regionais ficou em 14º lugar, a Espanha apresentou uma diretiva para a região da Catalunha e para Estremadura ficou em 16º lugar. Holanda apresentou a 10ª colocação, e além de um plano de nível nacional de implementação de Economia Circular, apresentou uma diretiva regional para Amsterdã, assim como a França que além do plano nacional ainda apresenta uma diretiva para Paris. De todos os países que apresentaram planos regionais, a França é o que ficou em melhor colocação, apresentando a 7ª colocação no *ranking* gerado.

Análise do Indicador Composto com subindicadores de Economia Circular

Ao final, foi realizada uma análise de sensibilidade. Como o Indicador Composto proposto se ateve a analisar relativamente países por meio de subindicadores que representassem dimensões relacionadas e Sustentabilidade e Economia Circular, foi realizado o exercício de se calcular um Indicador Composto apenas com subindicadores pertencentes à dimensão de circularidade, de acordo com a Figura 21.

Figura 21: Indicador Composto somente com a dimensão de circularidade

Fonte: autor

Como representado pela Figura 21, a análise de sensibilidade realizada consistiu em retirar todos os outros subindicadores e se manter apenas os associados diretamente com Economia Circular, sendo eles: empregos relacionados a EC, investimentos relacionados a EC, taxa de reciclagem de resíduos sólidos e produtividade de recursos.

O Quadro 1 apresenta a comparação de colocação dos países em cada um dos indicadores calculados e qual foi sua movimentação entre o *ranking* para Indicador Composto e o *ranking* para Economia Circular.

Quadro 1: Análise de sensibilidade do Indicador Composto

Indicador Completo				Indicador Economia Circular	
País	**Posição**		**Deslocamento**	**País**	**Posição**
Alemanha	6	↑	5	**Alemanha**	1
Áustria	5	●	0	**Áustria**	5
Bélgica	14	↑	6	Bélgica	8
Bulgária	22	↑	2	**Bulgária**	20
Croácia	12	↑	3	Croácia	9
Dinamarca	9	↓	-5	Dinamarca	14
Eslováquia	18	↑	1	**Eslováquia**	17
Eslovênia	1	↓	-12	Eslovênia	13
Espanha	16	↑	1	Espanha	15
Estônia	15	↓	-7	**Estônia**	22
Finlândia	3	↓	-9	Finlândia	12
França	7	↑	5	**França**	2
Grécia	13	↑	6	Grécia	7
Holanda	10	↑	4	**Holanda**	6
Hungria	11	↑	7	**Hungria**	4
Itália	8	↑	5	**Itália**	3
Letônia	2	↓	-16	**Letônia**	18
Lituânia	17	↑	1	Lituânia	16
Polônia	19	↑	9	Polônia	10
Portugal	20	↑	1	**Portugal**	19
Romênia	21	●	0	**Romênia**	21
Suécia	4	↓	-7	Suécia	11

Fonte: autor

Como pode ser observado no Quadro 1, quando os subindicadores que representam sustentabilidade são retirados, mantendo-se apenas os referentes a Economia Circular, os países que apresentam melhor colocação no indicador completo caem no *ranking*. A Alemanha, por exemplo, que possui o maior índice de emissão de gases causadores do efeito estufa dentre os países analisados, passa de sexto para o primeiro lugar, pois o novo modelo não leva mais em consideração esse aspecto.

Isso acontece pelo fato de que quando medimos o desempenho apenas com subindicadores de EC, não levamos em conta os efeitos causados (ou não) pelas práticas de EC em Sustentabilidade. Dessa forma, pode-se concluir que se utilizar a EC como um conjunto de práticas para se atingir a sustentabilidade, mas compor um indicador apenas com informações de EC sem considerar Sustentabilidade, a representação do indicador composto estará incompleta, pois não levará em consideração a habilidade dos países em transformar esforços de EC em Desenvolvimento Sustentável.

6. CONCLUSÕES

A utilidade de se valer de indicadores compostos para analisar determinados aspectos a serem estudados recaem sobre a praticidade de se poder atentar a apenas uma medida. É muito mais simples olhar para apenas um valor, dentro de uma métrica pré-estabelecida do que lidar com variados valores sobre temas diferentes individualmente e sintetizá-los e interpretá-los para a tomada de decisões, planejamento empresarial ou de políticas públicas. Como visto em Arbolino *et al*. (2018) indicadores compostos são indicados quando um único indicador não consegue capturar todas as informações, principalmente na presença de conceitos multidimensionais.

A simples interpretação além de ser mais trabalhosa, dá margem para subjetividades, principalmente no que diz respeito à atribuição de pesos diferentes para distintos indicadores, pois, em algum momento, quem os interpreta e põe em comparação deverá estabelecer qual e quanto é mais importante.

O método utilizado no presente trabalho resolve dois dos problemas de uma só vez: ao agregar os (sub) indicadores em apenas uma só métrica, com uma interpretação intuitiva (quanto maior melhor, dentro de um intervalo entre 0 e 1), além de, durante essa agregação, estabelecer os pesos da forma mais justa quanto possível do ponto de vista matemático.

Em seu trabalho, De Pascale *et al*. (2020) por meio de revisão da literatura se propuseram a fornecer uma visão geral completa dos indicadores de economia circular, chegando ao total de 61 indicadores, durante o período compreendido entre 2000 e 2019, fornecendo informações relacionadas à estratégia de formulação, dimensionamento, normalização, ponderação e método de agregação.

Dentre os indicadores compostos macro levantados, dois abordam exclusivamente a União Europeia, e estão listados na Tabela 23.

Tabela 23: Indicadores Compostos macro de Economia Circular

Indicador Macro	Abrangência	Ano	Autor (es)	País
Indicadores de circularidade baseados na abordagem MFA	27 países europeus	2015	Haas et a. (2015)	União Europeia
Estabelecimento de ferramentas de monitoramento de fluxos de materiais em um EC no nível macro	28 países europeus	2018	Mayer *et al.* (2018)	União Europeia

Fonte: autor

O trabalho de Haas *et al*. (2015) aplicou uma abordagem sociometabólica para avaliar e comparar a circularidade dos fluxos globais e da União Europeia. Como resultado de sua aplicação, não foram retornados *rankings*, e nem comparações entre países/regiões. O produto de seu trabalho foi uma comparação do agregado da União Europeia com o resto do mundo. Sua estimativa demonstra que, embora globalmente cerca de 4 gigatoneladas por ano de resíduos sejam reciclados, este fluxo é de tamanho moderado em comparação com 62 Gt/ano de materiais processados. Dessa forma, percebemos que esse indicador, embora útil para avaliar o grau de circularidade tanto mundial quanto da UE não retorna resultados específicos em relação às dimensões de sustentabilidade ou ainda em relação a unidades geográficas em particular.

O trabalho de Mayer *et al*. (2018) também abordou a criação de indicador de EC focado em fluxo de materiais e apresenta uma estrutura para avaliação biofísica abrangente e econômica de EC, utilizando e vinculando sistematicamente estatísticas oficiais sobre extração e uso de recursos e fluxos de resíduos em uma abordagem de massa balanceada. Tal estrutura se baseia na aplicação de contabilidade de fluxo de materiais em toda a economia e a expande integrando fluxos de resíduos, reciclagem e materiais reciclados. Os resultados demonstram que 7,4 gigatoneladas (Gt) de materiais foram processados na UE e apenas 0,71 Gt deles eram materiais secundários. A taxa de ciclagem socioeconômica de insumos derivados de materiais foi, portanto, de 9,6%. Além disso, dos 4,8 Gt de fluxos de saída intermediários, 14,8% foram reciclados.

Tais indicadores compostos se diferem totalmente do apresentado aqui, tanto pela abordagem social, ambiental e econômica quanto pelo relacionamento dessas dimensões com a dimensão de circularidade. Outra vantagem é a possibilidade de fornecer um *ranking* e comparar países/regiões, avaliar o desempenho do país ou dos países ao longo do tempo além de resolver a questão de subjetividade de pesos ao agregar indicadores em um único composto.

Este trabalho analisou o panorama da EC e da Sustentabilidade na União Europeia, concluindo que para aquela região existe um montante significativo de iniciativas de Economia Circular, com o desenvolvimento recente de métricas para a medição de progressos em direção à circularidade e a discussão acerca de facilitadores e mudança de paradigmas tanto por parte dos consumidores quanto por parte das empresas.

Os resultados apontaram, primeiramente que investimentos em práticas de Economia Circular têm efeito positivo nos ODS analisados para esse conjunto de países, e em seguida a criação do Indicador Composto permitiu o estabelecimento de um *ranking*. E a análise dos seis primeiros e dos seis últimos colocados, por meio de contraponto com a literatura existente para

cada um dos países. Dentre os últimos colocados, a maioria não apresentou volume de publicações significativas em EC que pudessem prover informações acerca dos avanços ou das deficiências de cada um dos países.

Uma análise adicional foi realizada, com a aplicação do modelo DEA-BoD nos países considerando apenas os subindicadores de natureza essencialmente de Economia Circular. Os resultados desse exercício demonstraram que um indicador que contemple apenas a dimensão de circularidade não possui tanta aderência com sustentabilidade, pois apesar de medir os avanços em relação às práticas de EC, não possui a capacidade de medir os impactos dessas condutas em termos de resultados em Desenvolvimento Sustentável.

Tal como proposto por Rockström e Sukhdev (2016) e Raes (2021) no sentido de que as práticas de Economia Circular podem contribuir direta e indiretamente na obtenção de resultados em inúmeros Objetivos sociais, econômicos e ambientais, e a abordagem conjunta de indicadores de Sustentabilidade simultaneamente a indicadores de Economia Circular, justificam a criação de um Indicador Composto que aborde todas as dimensões concomitantemente.

As limitações desse trabalho recaem sobre a falta de dados disponíveis para a aplicação sob uma gama maior de países, principalmente aqueles pertencentes ao grupo em desenvolvimento ou que possuem considerável parcela de seu território ainda inexploradas com relativa abundância de recursos naturais. A ausência de dados disponíveis para países impede sua análise e a ausência de outros tipos de informações impossibilita análises mais eficazes em termos de abrangência de práticas e impactos.

Como oportunidade de pesquisas futuras, as possibilidades são inúmeras. Por ser um tema ainda incipiente, Economia Circular não possui uma identidade concretizada, com práticas normalizadas, como apontou a revisão de literatura, da mesma forma que a aplicação de indicadores para esse tema ainda não se padronizou, principalmente pela incipiência citada sobre o tema. Diversos exercícios de agrupamento de indicadores podem ser aplicados, tal como a organização de um banco de dados para as regiões em desenvolvimento viabilizando análises e criação de diretrizes rumo à circularidade e ao Desenvolvimento Sustentável.

REFERENCIAS

A Circular Economy in the Netherlands by 2050. **Organisation for Economic Co-operation and Development,** 2016 Disponível em: https://www.oecd.org/environment/ministerial/whatsnew/2016-ENV-Ministerial-Netherlands-Circular-economy-in-the-Netherlands-by-2050.pdf.

A Circular Economy Strategy for Scotland Report. The Scottish Government. **European Union – European Circular Economy Stakeholder Platform,** 2016. Disponível em https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/making_things_last.pdf.

ABRAMOVAY, R. Um acordo pela economia circular. **Revista Página 22,** n. 83, p. 22, 2014. Disponível em https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/pagina22/article/view/20626/24224.

ALMÉN, J.; DALHAMMAR, C.; MILIOS, L.; RICHTER, J.L. Repair in the circular economy: Towards a National Swedish Strategy. **In: 20th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production. Verlag der Technischen Universität Graz**. p. 21-41, 2021. Disponível em https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/102261169/proceedings_20th_erscp_2021_02.pdf.

ANDREWS, D. The circular economy, design thinking and education for sustainability. **Local Economy**, p. 305-315, 2015. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/276176634_The_circular_economy_design_thinking_and_education_for_sustainability.

ANNARELLI, A.; BATTISTELLA, C.; NONINO, F. Product service system: A conceptual framework from a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, p. 1011-1032, 2016. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616312094.

ANTIKAINEN, M.; VALKOKARI, K. A Framework for Sustainable Circular Business Model Innovation. **Technology Innovation Management Review**, p. 5-12, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/326313064_A_Framework_for_Sustainable_Circular_Business_Model_Innovation.

ARBOLINO, R., DE SIMONE, L., CARLUCCI, F., YIGITCANLAR, T.; IOPPOLO, G. Towards a sustainable industrial ecology: Implementation of a novel approach in the performance evaluation of Italian regions. **Journal of cleaner production,** v. 178, p. 220-236, 2018. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617331670.

AROWOSHEGBE, A. O.; EMMANUEL, U.; GINA, A. Sustainability and triple bottom line: An overview of two interrelated concepts. **Igbinedion University Journal of Accounting**, v. 2, n. 16, p. 88-126, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/322367106_SUSTAINABILITY_AND_TRIPLE_BOTTOM_LINE_AN_OVERVIEW_OF_TWO_INTERRELATED_CONCEPTS.

BAI, C.; ORZES, G.; SARKIS, J. Exploring the impact of Industry 4.0 technologies on social sustainability through a circular economy approach. **Industrial Marketing Management**, v. 101, p. 176-190, 2022. Disponível em https://bia.unibz.it/esploro/outputs/journalArticle/Exploring-the-impact-of-Industry-40/991006310498101241.

BANAIT, D.; TAMOŠIŪNIENĖ, R. Sustainable Development: The Circular Economy Indicators'selection Model. **Journal of Security & Sustainability Issues**, v. 6, n. 2, 2016. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/311988140_Sustainable_development_The_circular_economy_indicators'_selection_model.

BERG, A.; ANTIKAINEN, R.; HARTIKAINEN, E.; KAUPPI, S.; KAUTTO, P.; LAZAREVIC, D.; PIESKI,S. ; SAIKKU, L. **Circular economy for sustainable development.** 2018. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/331523940_Circular_Economy_for_Sustainable_Development.

BERTONI, M. Multi-Criteria Decision Making for Sustainability and Value Assessment in Early PSS Design. **Sustainability**, 1952, 2019. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/11/7/1952.

BELL, Andrew; FAIRBROTHER, Malcolm; JONES, Kelvyn. Fixed and random effects models: making an informed choice. **Quality & quantity**, v. 53, n. 2, p. 1051-1074, 2019.

BRESSANELLI, G.; ADRODEGARI, F., Perona, M., & SACCANI, N. Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. **Sustainability**, v. 639, 2018 Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/639.

BRETHERTON, C.; VOGLER, J. The European Union as a sustainable development actor: the case of external fisheries policy. **European integration**, v. 30, n. 3, p. 401-417, 2008. Disponível em https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07036330802142012.

BRIDGENS, B.; HOBSON, K.; LILLEY, D.; LEE, J.; SCOTT, J.; WILSON, G. Closing the Loop on E-waste: A Multidisciplinary Perspective. **Journal of Industrial Ecology**, p. 169-18, 2017. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12645.

CHEN, C. Guidance on the Conceptual Design of Sustainable Product–Service Systems. **Sustainability**, v. 2452, 2018. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2452.

CHEN, Z.; MING, X.; ZHANG, X.; YIN, D.; SUN, Z. A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system. **Journal of Cleaner Production,** p. 485-508, 2019. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619312247.

CHERCHYE, L.; MOESEN, W.; ROGGE, N.; PUYENBROECK, T.V. An introduction to 'benefit of the doubt' composite indicators. **Social Indicators Research**, p. 111-145, 2007. Disponível em https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-006-9029-7.

CHERCHYE, L.; MOESEN, W.; ROGGE, N.; PUYENBROECK, T.V.; SAISANA, M.; SALTELLI, A.; LISKA, R. TARANTOLA, S. Creating composite indicators with DEA and robustness analysis: the case of the Technology Achievement Index. **Journal Of The Operational Research Society**, p. 239-251, 2008. Disponível em https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2602445.

CHERRY, C.; PIDGEON, N. Why Is Ownership an Issue? Exploring Factors That Determine Public Acceptance of Product-Service Systems. **Sustainability**, v. 2289, 2018. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2289.
Circular Amsterdam: A vision and Action Agenda for the City and Metropolitan Area. **City Government of Amsterdam,** 2016. Disponível em https://www.circle-economy.com/wp-content/uploads/2016/04/Circular-Amsterdam-EN-small-210316.pdf.

Circular Flanders Kick-off Statement. Vlaanderen Circulair. **European Union – European Circular Economy Stakeholder Platform,** 2017. Disponível em https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/kick-off_statement_circular_flanders.pdf.

COOPER, W. W; SEIFORD, L. M.; TONE, K. Date Envelopment Analysis: a comprehensive Text with models, applications, reference and DEA–Solver software. **Journal of the Operational Research Society,** 2000. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/32047675_Data_Envelopment_Analysis_A_Comprehensive_Text_with_Models_Applications_References_and_DEA-Solver_Software.

DATA, E. U. (n.d.). **Flash Eurobarometer 388: Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency**. Disponível em https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S1102_388.

DE PASCALE, A.; ARBOLINO, R.; DEPCZYNKA-SZOPIK, K.; LIMOSANI, M.; IOPPOLO, G. A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 124942, 2021. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620349866.

DECANCQ, K.; LUGO, M. Weights In Multidimensional Indices Of Wellbeing: An Overview. **Econometric Reviews**, p. 7-34, 2013. Disponível em https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07474938.2012.690641.

DEL MAR ALONSO-ALMEIDA, M.;. Institutional entrepreneurship enablers to promote circular economy in the European Union: Impacts on transition towards a more circular economy. **Journal of Cleaner Production,** v. 281, p. 124841, 2021. Disponível emhttps://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965262034885X.

DELIVERY THE CIRCULAR ECONOMY: A TOOLKIT FOR POLICYMAKERS. **Ellen MacArthur Foundation**, 2015. Disponível em https://ellenmacarthurfoundation.org/.

DESPEISSE, M.; BAUMERS, M.; BROWN, P; CHARNLEY, F.; FORD, S.J.; GARMULEWICZ, A.; KNOWLES, S.; MINSHALL, T.H.W.; MORTARA, L.; REED-TSOCHAS, F.P.; ROWLEY, J. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. **Technological Forecasting And Social Change,** p. 75-84, 2017. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162516303341.

DIMACHE, A.; ROCHE, T. A decision methodology to support servitisation of manufacturing. **International Journal of Operations & Production Management**, p. 1435-1457, 2013. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/263489749_A_decision_methodology_to_support_servitisation_of_manufacturing.

DRISCOLL, John C.; KRAAY, Aart C. Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. **Review of economics and statistics**, v. 80, n. 4, p. 549-560, 1998.

DONG, L.; FUJITA, T.; ZHANG, H.; DAI, H.; FUJII, M.; OHNISHI, S.; GENG, Y.; LIU, Z. Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. **Energy Policy**, p. 864-873, 2013. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513005910.

DONG, L.; LIU, Z.;BIAN, Y. Match Circular Economy and Urban Sustainability: Re-investigating Circular Economy Under Sustainable Development Goals (SDGs). **Circular Economy and Sustainability**, p. 1-14., 2021. Disponível em https://bia.unibz.it/esploro/outputs/journalArticle/Exploring-the-impact-of-Industry-40/991006310498101241.

ECO-INNOVATION ACTION PLAN. **European Union,** 2022. Disponível em Eco-Innovation: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/circular-economy-indicators_en.

ECONOMIA CIRCULAR. **Ellen MacArthur Foundation**, 2018 Disponível em https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/.

EHRENFELD, J. (a.n.d.). Industrial Ecology: a new field or only a metaphor? **Journal of Cleaner Production**, p. 825-831, 2004. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/228607935_Industrial_ecology_A_new_field_or_only_a_metaphor.

ELKINGTON, J. Accounting for the triple bottom line. **Measuring Business Excellence**, 1998. Disponível em https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb025539/full/html.

EPEA GmbH – Part of Drees & Sommer, 2018. Disponível em https://epea-hamburg.com.

EUROSTAT. (n.d.). Disponível em https://ec.europa.eu/eurostat.

EXTREMADURA 2030: STRATEGY FOR A GREEN AND CIRCULAR ECONOMY. REGIONAL GOVERNMENT OF EXTREMADURA. **Interreg Europe,** 2017. Disponível em http://extremadura2030.com/wp-content/uploads/2018/05/estrategia2030.pdf.

FERRAZ, D., MARIANO, E. B., REBELATTO, D., & HARTMANN, D. Linking human development and the financial responsibility of regions: Combined index proposals using methods from data envelopment analysis. **Social Indicators Research**, v. 150, n. 2, p. 439-478, 2020. Disponível em https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-020-02338-3.

Flash Eurobarometer 388: Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency.

Europoean Union Open Data Portal, 2022. Disponível em https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/S1102_388.

FRANCE UNVEILS CIRCULAR ECONOMY ROADMAP. THE FRENCH MINISTRY OF ECOLOGICAL AND SOLIDARITY TRANSITION. **Ecologie**, 2018. Disponível em https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/FREC%20-%20EN.pdf.

GERMANY-GERMAN RESOURCE EFFICIENCY PROGRAMME (PROGRESS II). **Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.** 2016. Disponível em http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/german_resource_efficiency_programme_ii_bf.pdf.

FRANCO, I. B.; ABE, M. SDG 17 Partnerships for the Goals. **In: Actioning the Global Goals for Local Impact.** Springer, Singapore, 2020. p. 275-293. Disponível em https://www.springerprofessional.de/en/sdg-17-partnerships-for-the-goals/17384716.

FRIANT, M. C.; VERMEULEN, W. J.V; SALOMONE, R. Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 337-353, 2021. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550920313750.

FUKUYAMA, H.; MAEDA, Y.; SEKITANI, K.; SHI, J. Input–output substitutability and strongly monotonic p-norm least distance DEA measures. **European Journal of Operational Research**, p. 997-1007, 2014. Disponível em https://tus.elsevierpure.com/en/publications/input-output-substitutability-and-strongly-monotonic-p-norm-least.

GA, U. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development (A/RES/70/1). **New York: UN General Assembly**. 2015 Disponível em https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. (n.d.). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, p. 757-768. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616321023.

GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving 'leapfrog development'. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, p. 231-239, 2008. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/249060904_Developing_the_circular_economy_in_China_Challenges_and_opportunities_for_achieving_'leapfrog_development'.

GENG, Y.; DOBERSTEIN, B. Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving'leapfrog development'. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, n. 3, p. 231-239, 2008. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/249060904_Developing_the_circular_economy_in_China_Challenges_and_opportunities_for_achieving_'leapfrog_development'.

GENG, Y.; FU, J.; SARKIS, J.; XUE, B. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, p.216-224, 2012. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652611002460.

GEISENDORF, S.; PIETRULLA, F. The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, p. 771-782, 2018. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tie.21924.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M.; HULTINK, E. J. The Circular Economy–A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616321023.

GENOVESE, A.; ACQUAYE, A.; FIGEROA, A. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. **Omega-0International Journal of Management Science**, p. 344-357, 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/279567969_Sustainable_Supply_Chain_Management_and_the_transition_towards_a_Circular_Economy_Evidence_and_some_Applications.

GOYAL, S.; ESPOSITO, M.; KAPOOR, A. Circular economy business models in developing economies: lessons from India on reduce, recycle, and reuse paradigms. **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, p. 729-740, 2018. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tie.21883.

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. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012287.

GRIGORYAN, A.; BORODAVKINA, N. The Baltics on their way towards a circular economy. **Baltic region**, v. 9, p. 4-14, 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/321504679_The_Baltics_on_Their_Way_towards_a_Circular_Economy.

GEISENDORF, S.; PIETRULLA, F. The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. **Thunderbird International Business Review**, p. 771-782, 2017. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tie.21924.

HAAS, W.; KRAUSMANN, F.; WIEDENHOFER, D.; HEINZ, M. How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of industrial ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12244.

HALKOS, G.E; TZEREMES, N.G. Exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. **Ecological Economic**, v. 68, p. 2168-2176, 2009. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092180090900069X.

HAZEN, B.; MOLLENKOPF, D.; WANG, Y. Remanufacturing for the Circular Economy: An Examination of Consumer Switching Behavior. **Business Strategy And The Environment**, p. 451-464, 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/303935197_Remanufacturing_for_the_Circular_Economy_An_Examination_of_Consumer_Switching_Behavior.

HARTLEY, K.; VAN SANTEN, R. KIRCHHERR, J. Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 155, p. 104634, 2020. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919305403.

HERMANS, E.; VAN DEN BOSSCHE, F.; WETS, G. Combining road safety information in a performance index. **Accident Analysis And Prevention,** p. 1337-1344, 2008. Disponível em https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18606264/.

HERCIU, M.; OGREAN, C. An overview on European Union sustainable competitiveness. **Procedia Economics and Finance**, v. 16, p. 651-656, 2014. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567114008533.

HOBSON, K.; LYNCH, N. Diversifying and de-growing the circular economy: Radical social transformation in a resource-scarce world. **Future**s, p. 15-25, 2016. Disponível em https://www.academia.edu/43855614/Diversifying_and_de_growing_the_circular_economy_Radical_social_transformation_in_a_resource_scarce_world.

HOSKINS, B.; MASCHERINI, M. Measuring Active Citizenship through the Development of a Composite Indicator. **Social Indicators Research**, p. 459-488, 2009. Disponível em https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-008-9271-2.

HENRIQUES, A. CSR, sustainability and the triple bottom line. **In: The triple bottom line: Does it all add up?** Routledge. p. 26-33, 2013.

HOJNIK, J.; RUZZIER, M.; MANOLOVA, T. S. Sustainable development: Predictors of green consumerism in Slovenia. **Corporate social responsibility and environmental management**, v. 27, n. 4, p. 1695-1708, 2020. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/csr.1917.

HORBACH, J.; RAMMER, C. Circular economy innovations, growth and employment at the firm level: Empirical evidence from Germany. **Journal of industrial ecology**, v. 24, n. 3, p. 615-625, 2020. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12977.

ION, I.; IONASCU, M. Business models for circular economy and sustainable development: The case of lease transactions. **Amfiteatru Economic**, p. 356-372, 2018. Disponível em https://ideas.repec.org/a/aes/amfeco/v20y2018i48p356.html.

JACOBI, N.; HAAS, W.; WIEDENHOFER, D.; MAYER, A. Providing an economy-wide monitoring framework for the circular economy in Austria: Status quo and challenges. **Resources, Conservation and Recycling,** v. 137, p. 156-166, 2018. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918301976.

JÄRVENPÄÄ, A. M.; SALMINEN, V.; KANTOLA, J. Industrial Symbiosis, Circular Economy and Industry 4.0. – A Case Study in Finland. **Management and Production Engineering Review**, 2021. Disponível em https://journals.pan.pl/Content/121964/PDF/art10.pdf.

KJAER, L.; PIGOSSO, D.; MCALOONE, T. C.; BIRKVED, M. Guidelines for evaluating the environmental performance of Product/Service-Systems through life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, p. 666-678, 2018. Disponível em https://orbit.dtu.dk/en/publications/guidelines-for-evaluating-the-environmental-performance-of-produc.

KJAER, L.; PIGOSSO, D.; NIERO, M.; BECH, N.; MCALOONE, T.C. Product/Service-Systems for a Circular Economy: The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption? **Journal of Industrial Ecology**, p. 22-35, 2018. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12747.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPALA, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. **Ecological Economics**, p. 37-46, 2018. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800916300325.

KRINSTENSEN, H.; REMMEN, A. A framework for sustainable value propositions in product-service systems. **Journal of Cleaner Production**, p. 25-35, 2019. Disponível em https://www.semanticscholar.org/paper/A-framework-for-sustainable-value-propositions-in-Kristensen-Remmen/97248ac925ffecfe2a57def7f5f73add810a6442.

KIRCHHERR, J.; PISCICELLI, L., BOUR; R., KOSTENSE-SMIT, E.; MULLER, J.; HUIBRECHTSE-TRUIJENS, A.; HEKKERT, M. Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). **Ecological Economics**, v. 150, p. 264-272, 2018. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800917317573.

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. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835.

KUO, L.; YEH; C.-C.; YU, H.-C. Disclosure of Corporate Social Responsibility and Environmental Management: Evidence from China. **Corporate Social Responsibility And Environmental Management**, p. 273-287, 2012. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/csr.274.

LEADING THE CYCLE FINNISH ROAD MAP TO A CIRCULAR ECONOMY 2016–2025. **Sitra Studies**, n.121, 2016. Disponível em https://media.sitra.fi/2017/02/24032659/Selvityksia121.pdf.

LEADING THE TRANSITION: A CIRCULAR ECONOMY ACTION PLAN FOR PORTUGAL: 2017–2020. Ministry of Environment of Portugal, **European Union**, **European Circular Economy Stakeholder Platform** 2017. Disponível em https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/strategy_-_portuguese_action_plan_paec_en_version_3.pdf.

LIEDER, M., RASHID A. 2016. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p.36-51, 2016. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615018661.

LINDER, M.; WILLIANDER, M. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. Business Strategy And The Environment, p. 182-196, 2017. Disponível em http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1274728&dswid=-6345.

LONDON'S CIRCULAR ECONOMY ROUTE MAP. LONDON WASTE AND RECYCLING BOARD. **The Alliance for Sustainable Building Products,** 2017. Disponível em http://www.lwarb.gov.uk/wp-content/uploads/2015/04/LWARB-London%E2%80%99s-CE-route-map_16.6.17a_singlepages_sml.pdf.

MARIANO, E. B. **Progresso e Desenvolvimento Humano: Teorias e indicadores de riqueza, qualidade de vida, felicidade e desigualdade**. Alta Books, 2019.

MARINO, A.; PARISO, P. Comparing European countries' performances in the transition towards the Circular Economy. **Science of the Total Environment,** v. 729, p. 138142, 2020. Disponível em https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138142.

MARK, E. S. XTIVREG2: Stata module to perform extended IV/2SLS, GMM and AC/HAC, LIML and k-class regression for panel data models (Version S456501): Boston College Department of Economics. 2005.

MARTINHO, V. D.; MOURÃO, P. R. Circular economy and economic development in the European Union: a review and bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7767, 2020. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/12/18/7767.

MATSCHEWSKY, J. Unintended Circularity?—Assessing a Product-Service System for its Potential Contribution to a Circular Economy. **Sustainability,** v. 2725, 2019. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2725.

MAYER, A.; HAAS, W.; WIEDENHOFER, D, KRAUSMANN, F.; NUSS, P.; BLENGINI, G.A. Measuring progress towards a circular economy: a monitoring framework for economy-wide material loop closing in the EU28. **Journal of industrial ecology**, v. 23, n. 1, p. 62-76, 2019. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12809.

MAZUR-WIERZBICKA, E. Towards circular economy—A comparative analysis of the countries of the European Union. **Resources**, v. 10, n. 5, p. 49, 2021. Disponível em https://www.mdpi.com/2079-9276/10/5/49.

MCGILLIVRAY, M. The Human-Development Index - Yet Another Redundant Composite Development Indicator. **World Development**, p. 1461-1468, 1991. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0305750X9190088Y.

MHATRE, P.; PANCHAL, R.; SINGH, A.; BIBYAN, S. A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 187-202, 2021. Disponível em

https://www.researchgate.net/publication/344341274_A_Systematic_Literature_Review_on_the_Circular_Economy_Initiatives_in_the_European_Union.

MICHELINI, G.; MOARES, R.; CUNHA, R.; COSTA, J.;OMETTO, A. From Linear to Circular Economy: PSS Conducting the Transition. **Procedia CIRP,** 2017. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117301567.

MILLAR, N.; BÖRGER, T.; MCLAUGHLIN, E. The Circular Economy: Swings and Roundabouts? **Ecological Economics**, p.11-19, 2019. Disponível em https://research-repository.st-andrews.ac.uk/handle/10023/19192.

MORAGA, G.; HUYSVELD, S.; MATHIEUX, F.; BLENGINI, G.; ALAERTS, L.; VAN ACKER, K.; MEESTER, S., DEWULF, J. Circular economy indicators: What do they measure? **Resources, Conservation and Recycling**, p. 452-461, 2018. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491930151X.

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,** p. 369-380, 2017. Disponível em https://link.springer.com/article/10.1007/s10551-015-2693-2.

NASIRI, M.; RANTALA, T.; SAUNILA, M.; UKKO, J.; RANTANEN, H. Transition towards Sustainable Solutions: Product, Service, Technology and Business Model. **Sustainability**, v. 358, 2018. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/10/2/358.

NELLES, M.; GRÜNES, J.; MORSCHECK, G. Waste management in Germany–development to a sustainable circular economy?. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 6-14, 2016. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616300901.

OGUNMAKINDE, O. E.E; BELAKIN, T.; SHER, W. Contributions of the circular economy to the UN sustainable development goals through sustainable construction. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 178, p. 106023, 2022. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344921006315.

PADILLA-RIVERA, A.; DO CARMO, B. B. T.; ARCESE, G.; MERVEILLE, N. Social circular economy indicators: Selection through fuzzy delphi method. **Sustainable Production and Consumption**, v .26, p. 101-110, 2021. Disponível em https://pubag.nal.usda.gov/catalog/7143308.

PAULI, G. **The Blue Economy: 10 years, 100 inovations, 100 million jobs**. Paradigm Publications, 2010.
PBL Netherlands Environmental Assesment Agency. 2017. Disponível em https://www.pbl.nl/en/.

PETRENKO, E.; SHEVYAKOVA, A.; ZHANIBEK, Z.; OLEFIRENKO, O. Towards economic security through diversification: case of Kazakhstan, **Journal of Security and Sustainability Issues**, v. 5, n. 4, p. 509-518, 2016. Disponível em http://dx.doi.org/10.9770/jssi.2016.5.4(6).

PIALOT, O.; MILLET, D.; BISIAUX, J. "Upgradable PSS": Clarifying a new concept of sustainable consumption/production based on upgradablility. **Journal of Cleaner Production**, p. 538-550, 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/308019397_Upgradable_PSS_Clarifying_a_new_concept_of_sustainable_consumptionproduction_based_on_upgradablility.

PIERONI, M.; MCALOONE, T.; PIGOSSO, D. Configuring New Business Models for Circular Economy through Product-Service Systems. **Sustainability**. 2019. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/11/13/3727.

PRODANUKS, T.; CIMDINA, G.; VEIDENBERGS, I.; BLUMBERGA, D.. Sustainable development of biomass CHP in Latvia. **Energy Procedia**, v. 95, p. 372-376, 2016. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216306658.

PROGRAMME RÉGIONAL EN ECONOMIE CIRCULAIRE 2016–2020. Ministry of Housing, Quality of Life, Environment and Energy of Belgium, Minister of the Economy, Employment and Professional Training. **Centre de documentation**, 2016. Disponível em https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/PROG_160308_PREC_DEF_FR.

PROMOTING GREEN AND CIRCULAR ECONOMY IN CATALONIA: STRATEGY OF THE GOVERNMENT OF CATALONIA. THE GOVERNMENT OF CATALONIA. **European Union – European Circular Economy Stakeholder Platform,** 2015. Disponível em https://circulareconomy.europa.eu/platform/strategies; http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/economia_verda/impuls/IMPULS-EV_150519.pdf.

REIM, W.; PARIDA, V.; ÖRTKVIST, D. Product–Service Systems (PSS) business models and tactics – a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, p. 61-75, 2015. Disponível em https://www.academia.edu/17413881/Product_Service_Systems_PSS_business_models_and_tactics_a_systematic_literature_review.

RETAMAL, M.; SCHANDL, H. Dirty Laundry in Manila: Comparing Resource Consumption Practices for Individual and Shared Laundering. **Journal of Industrial Ecology,** p. 1389-1401, 2017 Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12696.

RUBINS, M.; P., Irina. Development of renewable energy policy in Latvia. **In: Economic Science for Rural Development Conference Proceedings.** 2017. Disponível em https://llufb.llu.lv/conference/economic_science_rural/2017/Latvia_ESRD_44_2017-281-291.pdf.

ROADMAP TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY IN SLOVENIA. CIRCULAR CHANGE. **European Union – European Circular Economy Stakeholder Platform**, 2018. Disponível em http://www.vlada.si/fileadmin/dokumenti/si/projekti/2016/zeleno/ROADMAP_TOWARDS_THE_CIRCULAR_ECONOMY_IN_SLOVENIA.pdf . Acesso 14 Outubro 2018.

SAISANA, M.; D'HOMBRES, B.; SALTELLI, A. Rickety numbers: Volatility of university rankings and policy implications. **Research Policy**, p. 165-177, 2011. Disponível em https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC48717.

SAISANA, M.; SALTELLI, A.; TARANTOLA, S. Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assesment of Composite Indicators. **Royal Statistical Society**, p. 307-323, 2005. Disponível em https://rss.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x.

SALTELLI, A. Composite indicators between analysis and advocacy. **Social Indicators Research,** p. 65-77, 2007. Disponível em https://link.springer.com/article/10.1007/s11205-006-0024-9.

SARITAS, O.; PROSKURYAKOVA, L. Water resources – an analysis of trends, weak signals and wild cards with implications for Russia. **Foresight.** 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/274566158_Water_resources_-_an_analysis_of_trends_weak_signals_and_wild_cards_with_implications_for_Russia.

SILVESTRI, F.; SPIGARELLI, F.; TASSINARI, M. Regional development of Circular Economy in the European Union: A multidimensional analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 120218, 2020. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/338747194_Regional_development_of_Circular_Economy_in_the_European_Union_A_multidimensional_analysis.

SLOVENIJE, Republika Slovenija Vlada Republike. Roadmap Towards the Circular Economy in Slovenia. Republika Slovenija Vlada Republike Slovenije: Ljubljana, Slovenia, **European Union – European Circular Economy Stakeholder Platform,** 2018. Disponível em https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/roadmap_towards_the_circular_economy_in_slovenia.pdf.

SCHÖGGL, J. P.; STUMPF, L.; BAUMGARTNER, R. J. The narrative of sustainability and circular economy-A longitudinal review of two decades of research. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, 105073, 2020. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920303906.

SCHROEDER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019. Disponível em https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12732.

STUCHTEY, D. M. R. Circular Economy: Werte schöpfen, Kreisläufe schließen. **McKinsey Center for Business and Environment, Berlin.** 2016. Disponível em https://320grad.de/wp-content/uploads/2016/01/Studie1.pdf.

TIOSSI, F. M.; SIMON, A. T.. Economia Circular: suas contribuições para o desenvolvimento da Sustentabilidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 11912-11927, 2021. Disponível em .https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24108.

TOWARDS A MODEL OF CIRCULAR ECONOMY FOR ITALY—OVERVIEW AND STRATEGIC FRAMEWORK. Ministry for the Environment, Land and Sea Ministry of Economic Development. **European Union, European Circular Economy Stakeholder Platform** 2017. Disponível em https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/strategy_-_towards_a_model_eng_completo.pdf.

TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY. **Ellen MacArthur Foundation**. 2013. Disponível em https://ellenmacarthurfoundation.org/.

TUNN, V.; LUIJKX, K.; FOKKER, R.; DE JONG, S. Making Ours Mine: Increasing Consumer Acceptance of Access-Based PSS through Temporary Product Customisation. **Sustainability**, v. 274, 2019. Disponível em https://www.mdpi.com/2071-1050/11/1/274.

VESNA, L.; KOS, I.; TREBSE, P.; GODINA KOSIR, L.; BAVCON KRAJL, M. A Transition Towards the Circular Economy in Slovenia**. In: Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective. Springer**, p. 425-456, 2021. Disponível em https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-0913-8.

WANG, H.; SCHANDL, H.; WANG, X.; MA, F.; YUE, Q.; WANG,G.; WANG,Y;ZHANG, Z.; ZHENG, R. Measuring progress of China's circular economy. **Resources, Conservation and Recycling,** v. 163, p. 105070, 2020. Disponível em https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344920303876.

WALKER, A. M.; OPFERKUCH, K.; LINDGREEN, E. R.; SIMBOLI, A.; VERMEULEN, W. J.; RAGGI, A.. Assessing the social sustainability of circular economy practices: Industry perspectives from Italy and the Netherlands. **Sustainable Production and Consumption,** v. 27, p. 831-844, 2021. Disponível em https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/411739/1_s2.0_S2352550921000300_main.pdf?sequence=1.

WHITE PAPER ON THE CIRCULAR ECONOMY OF THE GREATER PARIS. City Government of Paris.**API**, 2016. Disponível em https://api-site.paris.fr/images/77050.

WIEDMANN, T.O; SCHANDL, H.; LENZEN, M.; MORAN, D.; SUH, S.; WEST, J.; KANEMOTO, K. The material footprint of nations. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 112, n. 20, p. 6271-6276, 2015. Disponível em https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1220362110.

WILTS, H. Germany on the Road to a Circular Economy. **Friedrich Ebert Stiftung**: Bonn, Germany, 2016.

WILLIAMS, Richard. Panel data 4: Fixed effects vs random effects models. **University of Notre Dame**, 2015.

WU, J.; ZHU, Q.; JI, X.; CHU, J.; LIANG, L. Two-stage network processes with shared resources and resources recovered from undesirable outputs. **European Journal Of Operational Resea**rch, p. 182-197, 2016. Disponível em https://ideas.repec.org/a/eee/ejores/v251y2016i1p182-197.html.

XI, F.; GENG, Y.; CHEN, X.; ZHANG,Y.; WANG, X.; XUE, B.; DONG, H.; LIU, Z.; REN, W.; FUJITA, T.; ZHU, Q. . Contributing to local policy making on GHG emission reduction through inventorying and attribution: A case study of Shenyang, China. **Energy Policy**, p. 5999-6010, 2011. Disponível em https://www.semanticscholar.org/paper/Contributing-to-local-policy-making-on-GHG-emission-Xi-Geng/5275a3e7bd72f9b82c743e1ed51bc4d4dc3f1bc2.

YANG, M.; SMART, P.; KUMAR, M.; JOLLY, M.; EVANS, S. Product-service systems business models for circular supply chains. **Production Planning and Control**, p. 498-508, 2018. Disponível em https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09537287.2018.1449247.
ZHOU, P.; ANG, B.; ZHOU, D. Weighting and Aggregation in Composite Indicator Construction: a Multiplicative Optimization Approach. **Social Indicators Research**, p. 169-181, 2010. Disponível em https://www.jstor.org/stable/40649323.

ZHU, Q.; GENG, Y.; SARKIS, J.; LAI, K. Evaluating green supply chain management among Chinese manufacturers from the ecological modernization perspective. **Transportation Research Part E-Logistics And Transportation Review**, p. 808-821, 2011. Disponível emhttps://ideas.repec.org/a/eee/transe/v47y2011i6p808-821.html.