

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
FACULDADE DE ENGENHARIA – FEB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FERNANDA CORTEGOSO DE OLIVEIRA FRASCARELI

**ÍNDICE DE ECONOMIA CIRCULAR PARA PAÍSES DA UNIÃO EUROPEIA:
PROPOSIÇÃO, CONSTRUÇÃO E CORRELAÇÃO COM INDICADORES DE
DESENVOLVIMENTO HUMANO**

BAURU
2021

FERNANDA CORTEGOSO DE OLIVEIRAS FRASCARELI

**ÍNDICE DE ECONOMIA CIRCULAR PARA PAÍSES DA UNIÃO EUROPEIA:
PROPOSIÇÃO, CONSTRUÇÃO E CORRELAÇÃO COM INDICADORES DE
DESENVOLVIMENTO HUMANO**

Texto de Defesa apresentado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, modalidade de Doutorado, da Faculdade de Engenharia de Bauru – UNESP, como requisito para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Enzo B. Mariano

Frascareli, Fernanda Cortegoso de Oliveira.
Índice de economia circular para países da União
Europeia: Proposição, construção e correlação com
indicadores de desenvolvimento humano / Fernanda
Cortegoso de Oliveira Frascareli, 2021
143 f.

Orientador: Enzo Barberio Mariano

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2021

1. Economia Circular. 2. Desenvolvimento Humano.
3. Índice composto. 4. Análise Envoltória de Dados.
5. Desenvolvimento Humano Sustentável. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE FERNANDA CORTEGOSO DE OLIVEIRA FRASCARELI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 03 dias do mês de setembro do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de FERNANDA CORTEGOSO DE OLIVEIRA FRASCARELI, intitulada **ÍNDICE DE ECONOMIA CIRCULAR PARA PAÍSES DA UNIÃO EUROPEIA: PROPOSIÇÃO, CONSTRUÇÃO E CORRELAÇÃO COM INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO HUMANO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. ENZO BARBERIO MARIANO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Professora Associada DAISY APARECIDA DO NASCIMENTO REBELATTO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade de São Paulo / São Carlos, Prof. Dr. HERICK FERNANDO MORALLES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR, Prof. Dr. HERMES MORETTI RIBEIRO DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Profª. Drª. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Enzo B. Mariano
Prof. Dr. ENZO BARBERIO MARIANO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelas condições que Ele proporcionou para o caminhar deste doutorado. Contemplo nestas “condições” a saúde, o trabalho, o propósito, a força e o amparo, mas em especial à rede de apoio. Tenho um casamento que começou no meu segundo ano de graduação e trouxe como frutos Pedro e Olívia, um filho de 15 anos e uma garotinha de 6. Finalizar a graduação, trabalhar, optar pelo mestrado e persistir no doutorado, num contexto como este, não é fácil. Mas a rede de apoio sempre foi “o presente” de Deus.

Então, meus agradecimentos! Ao meu marido André, no qual sempre encontrei incentivo e foi um parceiro que me impulsionou nos momentos de angústia e ansiedade. Um homem que soube lidar com uma esposa dividida em três grandes áreas: pessoal, profissional e acadêmica. Tarefa árdua para ambos. À minha mãe e sogra, que estiveram presentes em cada momento: nas noites em que ambos trabalhavam, dias inteiros cuidando das crianças e dos compromissos delas, auxílio neste momento de aulas remotas, convites para almoços e jantas! Se vocês soubessem a ajuda que vocês proporcionaram em cada atitude de amor. Aos meus filhos, que cresceram comigo neste ambiente acadêmico e que graças às aulas que venho ministrando online de casa e também às minhas reuniões, orientações e seminários, já conhecem mais de Engenharia de Produção do que eles imaginam. São crianças especiais e compreensivas. Obrigada mais uma vez, Deus.

Ao meu orientador, que me acolheu rapidamente assim que precisei. O Prof. Dr. Enzo Barberio Mariano trouxe tranquilidade, ajudou nas dificuldades e, sem saber, me ajudou a lidar com a ansiedade. Foi uma complemento com temas e abordagens que não eram da minha especialidade e me ensinou a importância delas e como tratá-las.

Ao Prof. Dr. Daniel Junged, que me auxiliou na escrita da tese e complementou com seu conhecimento em Economia Circular. Me adicionou ao seu grupo de pesquisa, realizou reuniões remotas, leu minha tese, teve um olhar crítico e propôs questões pertinentes e enriquecedoras. Um trabalho de coorientador. Muito obrigada!

Ao meu grupo de pesquisa Progresso Sustentável e Desenvolvimento Humano, colegas que dividiram conhecimentos, ideias, aflições e o soluções em reuniões mensais. Foi uma honra tê-los ao meu lado, gratificante compartilhar momentos e descobertas com pessoas ilustres, inteligentes e questionadoras. Fez a diferença. Ao meu orientador mais uma vez, por nos amparar aqui também.

Meus agradecimentos os membros desta banca. Prof. Dr. Herick Fernando Moralles, do Departamento de Engenharia de Produção da UFSCAR, obrigada pelo aceite e tenho certeza que sua expertise será enriquecedora para esta tese. Prof.^a Dr.^a Daisy Rebelatto, do Departamento de Engenharia de Produção da USP, que já está comigo desde a qualificação com propostas importantes e direcionadoras à condução do meu trabalho, muito obrigada. Ao Prof. Dr. Hermes Moretti Ribeiro da Silva, do Departamento de Engenharia de Produção da UNESP, que tive o prazer de trabalhar junto em artigos, bancas e disciplinas, obrigada! À Prof.^a Dr.^a Rosane Battistelle, do Departamento de Engenharia de Civil da UNESP, minha professora desde 2008 na graduação! Que honra tê-la mais uma vez compartilhando momentos importantes.

E, por fim, à instituição UNESP Júlio de Mesquita Filho. Esta universidade que me fez engenheira de produção plena (graduação, mestrado e doutorado) e me acompanha há 14 anos. Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção. Cada um, em diferentes fases, tem uma participação especial na minha trajetória (pessoal e profissional). Isso não é uma despedida. A UNESP ainda tem muito a me oferecer e, espero, que eu também a ela.

“Se a aparência e a essência das coisas coincidissem, a ciência seria desnecessária.”

— Karl Marx

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um índice composto que mensure a circularidade dos países a partir de uma abordagem macro; também visa analisar a correlação de índice com indicadores de desenvolvimento humano. No intuito de alcançar os objetivos alvitados, propõe-se um conjunto de métodos qualitativos e quantitativos que englobam: (a) identificar na literatura propostas de indicadores macros de economia circular; (b) encontrar métricas existentes em relatórios que mensurem os contextos e ações relacionadas a estes indicadores; (c) criar um Índice de Economia Circular utilizando a técnica Análise Envoltória de Dados; e (d) analisar estatisticamente a correlação entre o índice construído e indicadores de desenvolvimento humano. O principal resultado desta pesquisa foi a criação de um Índice de Economia Circular para os países da União Europeia, que proporcionou a identificação de 3 países como *benchmark*: Áustria, Letônia e Suécia. Além disso, os resultados permitiram constatar que apenas desigualdade de educação se correlacionou de alguma forma com o índice de economia circular. Essa pesquisa poderá ser útil para questões acadêmicas, sociais e gerenciais. No âmbito acadêmico, a criação do índice permitirá que novas relações sejam desenvolvidas, como EC e justiça climática, um outro tema em pauta atualmente. No âmbito social, a identificação da educação como meio de propagação e solidificação da EC na sociedade. E, no âmbito gerencial, os países poderão desenvolver padrões ambientais mais eficazes que auxiliarão na formulação de futuros programas de desenvolvimento da EC, além de reconhecerem as barreiras ao desenvolvimento local da EC em uma abordagem macro e formularem políticas adequadas considerando suas realidades ambientais locais. Como sugestão para aprimoramentos futuros recomenda-se: (a) à inclusão de outros indicadores relacionados a abordagem macro da Economia Circular visando a melhoria do índice criado; e (b) a busca por dados mais atuais, assim como a inclusão de outros países além dos da União Europeia.

Palavras-chave: Economia Circular; Desenvolvimento Humano; Índice composto; Análise Envoltória de Dados; Desenvolvimento Humano Sustentável.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to develop an index to measure and classify the circularity of countries from a macro approach and to analyze its correlation with human development indicators. In order to achieve these results, was developed a qualitative and quantitative model that encompasses the following methods: (a) identifying macro indicators of circular economy in the literature, (b) finding existing metrics in reports that measure the contexts and actions related to these indicators, (c) create a Circular Economy Index using the Data Envelopment Analysis technique; and (d) statistically analyze the correlation between the constructed index and human development indicators. The main results of this research are the creation of a Circular Economy Index for the European Union countries that provides the identification of 3 countries as benchmarks: Austria, Latvia and Sweden. In addition, the results showed that only inequality in education has an apparently correlation with the circular economy index. This research may be useful for academic, social and managerial issues. In the academic issue, the creation of the index will allow new relationships to be developed, such as CE and climate justice, another topic currently on the agenda. In the social issue, the identification of education as a means of propagation and solidification of CE in society. At the managerial level, the countries will be able to develop more effective environmental standards that will support the creation of future CE development programs; it will help countries to recognize the barriers to local CE development in a macro perspective, enhancing the creation of appropriate policies according to local environmental conditions. In addition, the paper presents the following proposals for future research: (a) the inclusion of other indicators related to the macro approach of circular economy to improve the Index created, and (b) the search for updated data, as well as the inclusion of countries outside the European Union.

Keywords: Circular Economy; Human Development; Composite index; Data Envelopment Analysis; Sustainable Human Development.

LISTA DE SIGLAS

DH	Desenvolvimento Humano
DS	Desenvolvimento Sustentável
EC	Economia Circular
EMI1	Emissões de CO ₂
EMI2	Emissões totais de gases de efeito estufa
ENE1	Participação da energia renovável no consumo total de energia final
ENE2	Produção de eletricidade renovável
IEC	Índice de Economia Circular
INS1	Consumo de energia renovável
INS2	Produtividade de recursos e consumo de material doméstico
INS3	Taxa de uso de material circular
MQO	Mínimo Quadrados Ordinários
REC1	Resíduos municipais reciclados ou compostados
REC2	Comércio de matérias-primas recicláveis
RES1	Resíduos municipais gerados
RES2	Resíduos perigosos gerados
TC	Teoria das Capacidades
TEC1	Desenvolvimento de tecnologia ambiental

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Alinhamento da pesquisa	16
Figura 2: Ciclos biológicos e Ciclos técnicos.....	21
Figura 3: Princípios da EC	25
Figura 4: Ciclos de recursos biológicos e técnicos da EC.....	26
Figura 5: Contribuição dos métodos da pesquisa	42
Figura 6: Mapa do IEC para países da EU	82
Figura 7: Estratégia de busca por artigos.....	130

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1: Porcentagem acumulativa	72
Gráfico 2: Porcentagem acumulativa	76
Gráfico 3: Tipos de documentos.....	132
Gráfico 4: Journals representativos em número de publicações.....	132
Gráfico 5: Palavras-chave dos autores.....	134
Gráfico 6: Palavras-chave das bases de busca.....	135
Gráfico 7: Publicações por ano.....	136
Gráfico 8: Publicações e Citações por país	136

ÍNDICE QUADROS

Quadro 1: Notações das expressões.....	51
Quadro 2: Indicadores teóricos para abordagem macro da EC	53
Quadro 3: Classificação dos indicadores macros da EC em grandes áreas.....	54
Quadro 4: Indicadores teóricos e Indicadores existentes em relatórios.....	59
Quadro 5: Classificação dos indicadores em inputs e outputs	64

ÍNDICE TABELAS

Tabela 1: Indicadores macros da EC dos países da UE do ano de 2015	63
Tabela 2: Indicadores macros da EC dos países da UE classificados em inputs/outputs.....	66
Tabela 3: Resultados da análise DEA.....	67
Tabela 4: Matriz de correlação entre os indicadores macros de EC.....	68
Tabela 5: Indicadores macros da EC após análise da matriz de correlação	69
Tabela 6: Valores dos testes de KMO e Bartlett	70
Tabela 7: Matrizes anti-imagem	71
Tabela 8: Comunalidades	71
Tabela 9: Variância Total explicada.....	72
Tabela 10: Matriz Componentes.....	73
Tabela 11: Matriz Componentes Rotacionada.....	73
Tabela 12: Componentes de input para cada país.....	74
Tabela 13: Valores dos testes de KMO e Bartlett	74
Tabela 14: Matrizes anti-imagem	75
Tabela 15: Comunalidades	75
Tabela 16: Variância Total explicada.....	76
Tabela 17: Matriz Componentes.....	77
Tabela 18: Matriz Componentes Rotacionada.....	77
Tabela 19: Componentes de output para cada país.....	78
Tabela 20: Componentes dos inputs e outputs	79
Tabela 21: Translação dos valores de inputs e outputs	80
Tabela 22: IEC dos países da EU	81
Tabela 23: Análise de contribuição relativa	83
Tabela 24: Análise de benchmarks entre os países.....	84
Tabela 25: Análise de folgas	85
Tabela 26: Valores do RDH 2016 com ano de referência 2015	86
Tabela 27: Matriz de Correlação	87
Tabela 28: Regressão Linear	88
Tabela 29:Dados dos resultados das buscas	131
Tabela 30: Dados dos artigos mais citados.....	138
Tabela 31: Matriz de correlação do IEC e indicadores do RDH.....	143

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos de pesquisa	15
1.2 Justificativa da pesquisa.....	16
1.3 Estrutura da tese	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Introdução à Economia Circular.....	19
2.2 Níveis da Economia Circular.....	27
2.2.1 Micro	27
2.2.2 Meso	28
2.2.3 Macro.....	28
2.3 Indicadores da Economia Circular	29
2.4 Abordagem das Capacidades.....	32
2.4.1 Desenvolvimento Humano	33
2.4.2 Desigualdades de capacidades.....	36
2.4.3 Relações entre desenvolvimento humano e Economia Circular	38
3. MÉTODO DE PESQUISA	41
3.1 Método Bola de Neve	42
3.2 Busca em Banco de Dados	44
3.3 Índice de Economia Circular	45
3.3.1 Análise de Componentes Principais (PCA).....	46
3.3.2 <i>Data Envelopment Analyses</i>	48
3.4 Análise estatística	51
4. RESULTADOS	52
4.1 Resultados do Método Bolo de Neve	52
4.2 Resultados da Busca em Bancos de Dados	58

4.3 Resultados da criação do Índice de Economia Circular	64
4.3.1 Resultados da Identificação de Inputs e Outputs.....	64
4.3.2 Resultados da Análise preliminar	67
4.3.3 Resultados da Matriz de correlação e exclusão de redundâncias	68
4.3.4 Resultados da Análise de Componentes Principais	69
4.3.4.1 Resultados da Análise de Componentes Principais dos <i>inputs</i>	70
4.3.4.2 Resultados da Análise de Componentes Principais dos <i>outputs</i>	74
4.3.5 Resultados do <i>Range Adjusted Model</i> (RAM) da Análise Envoltória de Dados (DEA)	78
4.4 Resultados da Análise Estatística	85
5. DISCUSSÕES	89
5.1 Discussões da Análise da contribuição relativa.....	89
5.2 Discussões da Análise dos Benchmarks	93
5.3 Discussões da Análise de outros países de destaque	99
5.4 Discussões da Análise de folga e metas	105
5.5 Discussões da Análise Estatística	108
6. CONCLUSÕES.....	110
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICE 1	128
APÊNDICE 2	143

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o Desenvolvimento Humano (DH) refere-se ao aumento da possibilidade de escolhas de um indivíduo sobre o que ele pretende ser, ter ou fazer. Diante disso, o crescimento econômico não seria mais suficiente para se medir o desenvolvimento de uma nação, sendo que o foco deve ser transferido ao indivíduo, garantindo assim que ele tenha capacidades e oportunidades para ser aquilo que ele deseja ser (SEN, 1999; UNDP, 2014; PNUD, 2019a).

Por mais que o desenvolvimento humano tenha contribuído com uma forma de análise focada nas liberdades do indivíduo, que pode servir para avaliar uma série de fenômenos sociais, tais como o desenvolvimento, a pobreza e a desigualdade, Pelenc et al. (2013) identificaram uma lacuna importante na relação dessa teoria com questões de sustentabilidade.

Nesse contexto, o Desenvolvimento Sustentável (DS) representa nova visão sobre o que seria um desenvolvimento genuíno (ONU, 2019). Dado que os atuais modos de vida e consumo são insustentáveis (SHOVE, 2010), a Organização das Nações Unidas (ONU) evidencia a necessidade de um consumo que atenda às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades (ONU, 2017). Portanto, tendo como premissa básica o *triple bottom line*, o DS exige a inclusão de ações que tragam resultados econômicos satisfatórios, afetem positivamente o meio ambiente e repercutam de forma significativa no desenvolvimento humano (ZHIJUN; NAILING, 2007; NEUMAYER, 2012).

A questão da sustentabilidade não é algo novo. A segurança da vida humana sempre dependeu, entre outras coisas, da força e da resiliência do mundo natural. No entanto, ao longo da história as pessoas tenderam a considerar a robustez da natureza como certa (SEN, 2013). Dessa forma, DH e DS são componentes essenciais para a vida humana, de modo que o DS pode ser visto como uma ampliação do DH, à medida que as preocupações e necessidades ambientais foram amadurecendo (NEUMAYER, 2012).

Alguns trabalhos, tais como o Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) de 2011, postulam a existência de uma relação positiva entre DH e questões relativas à sustentabilidade, ressaltando a necessidade de proteção da disponibilidade e da diversidade dos recursos naturais (ZHIJUN; NAILING, 2007; UNDP, 2011; NEUMAYER, 2012). Da mesma forma, a nova área de justiça climática tem buscado identificar caminhos para garantir justiça social aos indivíduos vulneráveis às mudanças climáticas, possibilitado diferentes tipos de abordagens sobre igualdade e liberdades

individuais (ZELLENTIN, 2015; GUTIERREZ; LEPREVOST, 2016; O'NEILL, 2017; ALVES; MARIANO, 2018; FURLAN; MARIANO, 2021).

Outro conceito igualmente recente é o de Economia Circular (EC), que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em promover benefícios para toda a sociedade (SAUVÉ et. al., 2016). Isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar os resíduos do sistema. Apoiada por uma transição para fontes de energia renovável, o modelo circular constrói capital econômico, natural e social (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

O conceito de EC, portanto, pode ser visto como uma alternativa para o DS, sendo que ele está sendo impulsionado em muitas partes do mundo e tem ganhado visibilidade entre acadêmicos e organizações públicas e privadas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; MCALOONE; PIGOSSO, 2017).

A EC oferece uma proposta para resolver problemas ambientais que afetam a saúde humana e o desenvolvimento social. Assim, a EC visa promover um crescimento caracterizado pela conservação de recursos e o encorajamento de mudanças nos comportamentos de consumo. A mudança de uma economia baseada na extração e consumo (linear) para uma de regeneração e restauração (circular) tornou-se uma prioridade crescente para os formuladores de políticas em todo o mundo (ILES, 2018).

Embora amplamente discutido, o DS gera discussões sobre como alcançar as vantagens econômicas, ambientais e sociais prometidas pelos pilares do *triple bottom line* (NORMAN; MACDONALD, 2004; PAINTER-MORLAND, 2006; HUBBARD, 2009). Nos últimos anos a EC tem sido vista como uma alternativa para alcançar estas três frentes. Vantagens econômicas e ambientais são percebidas com facilidade no conceito circular de uma economia, mas as discussões sobre seus efeitos em questões sociais apresentam-se ainda em um estado embrionário (ESPOSITO et al., 2015; MURRAY et al., 2017; ACERBI; TAISCH, 2020; SCHRÖDER et al., 2020).

Nesse contexto, os indicadores tornam-se imprescindíveis para que se possa refletir sobre essas mudanças, podendo ser vistos como uma ferramenta para apoiar a evolução de uma economia linear para uma mais circular (SAIDANI et al., 2017). Atualmente, as métricas monodimensionais de cunho ambiental utilizadas para mensurar a EC não conseguem mensurar a real circularidade de uma economia. Sangata et al. (2020) afirma que um índice referente à EC deve abordar algumas capacidades que foram ignoradas até hoje, como a dimensão social (GENG et al., 2012).

Desta forma, uma estrutura de indicadores que avalie questões macros da EC e os relacione a indicadores de DH pode ser usada para medir o progresso em direção a ambos, avaliando a redução de impactos ambientais através do aumento da circularidade e progresso em direção aos objetivos do DH (SCHRÖDER et al., 2020).

Portanto, a questão de pesquisa norteadora desta tese é: Como deveria ser um índice composto de economia circular que pudesse classificar os países quanto à circularidade e que permitisse diagnosticar se existe correlação entre EC e indicadores relacionados ao Desenvolvimento Humano?

É importante ressaltar que a ideia original desta pesquisa era identificar uma relação entre a EC e o DH com base na abordagem das capacidades de Amartya Sen. Assim, inicialmente, foi realizada uma exploração e revisão sistemática da literatura que resultou em levantamentos importantes e oportunos sobre os temas EC e DH (Apêndice 1). Porém, para conseguir relacionar estas variáveis, seria necessário o desenvolvimento de um índice de EC que contemplasse abordagens macros, tais quais os indicadores do RDH. Devido a inexistência deste índice, foi identificada uma lacuna e a necessidade da construção de um Índice de economia circular (IEC). Diante disso, o foco do trabalho foi alterado.

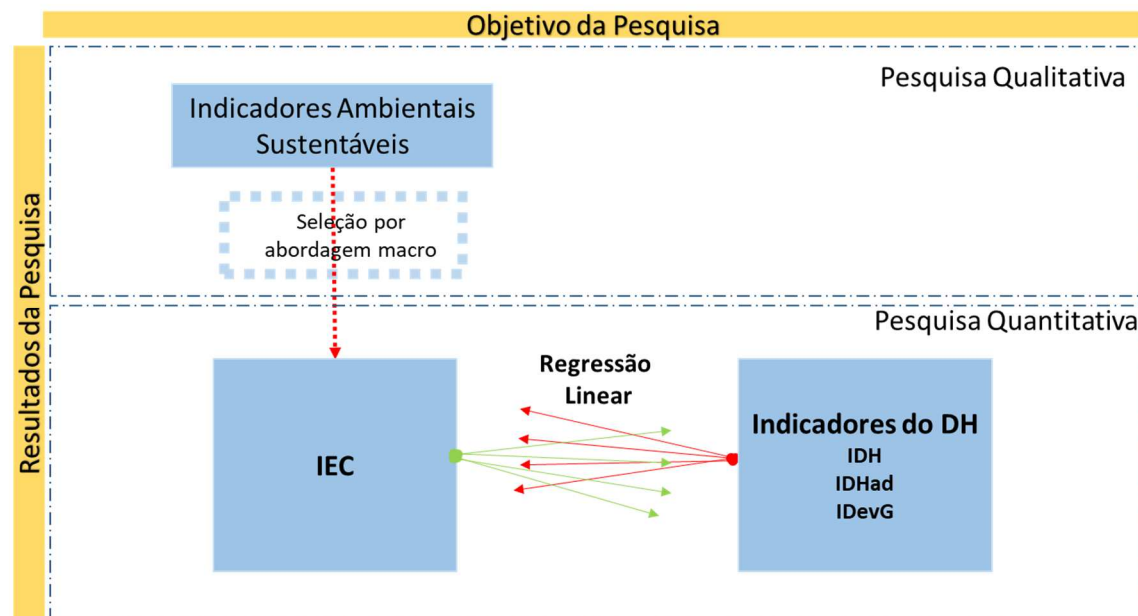
1.1 Objetivos de pesquisa

O objetivo deste trabalho é a construção de um índice de Economia Circular (IEC) que mensure e classifique a circularidade dos países em uma abordagem macro e que possa ser correlacionado com indicadores de DH.

No intuito de alcançar os objetivos propostos, foi necessário, primeiramente, (a) identificar indicadores macros da EC na literatura; (b) encontrar métricas existentes em relatórios que mensurassem os contextos e ações relacionadas a estes indicadores; (c) construir um IEC com o auxílio da técnica Análise Envoltória de Dados; e (d) analisar estatisticamente as relações existentes, ou não, entre índices relacionados ao desenvolvimento humano (índice de desenvolvimento humano - IDH, índice de desenvolvimento humano ajustado a desigualdade IDHad e índice de desenvolvimento humano por gênero - IdevG) e IEC construído.

A Figura 1 ilustra o alinhamento da pesquisa.

Figura 1: Alinhamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

1.2 Justificativa da pesquisa

O desenvolvimento econômico e o desenvolvimento humano estão bastante relacionados à dependência de recursos naturais (UNDP, 2011; CHENG et al., 2019). A EC é uma proposta que permite reduzir esta dependência. Assim, riscos relacionados à escassez de recursos, geração de resíduos e eliminação de desperdícios, que são problemas tanto ambientais quanto sociais, são pautas frequentes em discussões em diversas agendas internacionais (ERIKSSON et al., 2017).

A importância dos indicadores como ferramentas que apoiam e norteiam estas ações EC já foi bastante discutida (SAIDANI et al., 2017). Muitos indicadores disponíveis, ainda que de cunho ambiental, podem ser apropriados para monitorar este progresso de uma economia linear para uma circular (EASAC, 2016).

Entretanto, ainda existe uma deficiência quanto à medição da circularidade, ou seja, indicadores que mensurem as abordagens macros da EC e que possam avaliar os países dentro deste contexto (SCHRÖDER et al., 2020). Segundo o relatório da Agência Europeia do Ambiente (AEA) publicado em 2016 (AEA, 2016), não existe atualmente nenhuma maneira reconhecida de medir a eficácia de um país, ou mesmo uma empresa, que está fazendo a transição para uma EC. Na verdade, não há ferramentas para apoiar esse processo. Complementar a este contexto, existe apenas um pequeno número de

estudos publicados que projetam ou discutem indicadores de EC, exigindo, portanto, pesquisas adicionais (GHISELLINI et al., 2016).

A construção deste índice de EC com abordagens macros para os países possibilita a quantificação da circularidade e possibilita outras análises estatísticas, ou seja, mais quantitativas e menos teóricas, as quais permitirão um aprofundamento de outras questões como, por exemplo, assuntos relacionados ao DH. Cabe mencionar a pertinência destas análises, já que o reconhecimento do papel do meio ambiente como uma dimensão fundamental do DH ainda não está solidificada (PELENC et al., 2013).

Alguns autores identificam uma relação de causa e efeito entre o modelo de produção linear e a pobreza. Regiões pobres são menos favorecidas em recursos e não sendo capazes de investir em tecnologia para mudar o sistema, permanecendo em um modo de produção linear ineficiente que provoca baixa eficiência na utilização de recursos, séria destruição do meio ambiente e desenvolvimento econômico e geração de renda insatisfatórios. Esse dilema entre o desenvolvimento econômico, desenvolvimento humano e questões ambientais é generalizado em todo o mundo, se tornando um problema central (CHENG et al., 2019). Dado que esses são temas significativos para pesquisas atuais (PAN et al., 2017; GENG et al., 2013), isso dá força e justifica o desenvolvimento deste trabalho.

Outra justificativa para essa pesquisa são deficiências diagnosticadas por alguns autores do DH em relação à sustentabilidade (BALLET et al.; 2011; POLISHCHUK; RAUSCHMEYER, 2012; BALLET et al., 2013). Existe, portanto, a necessidade de criar uma relação plausível entre valores relacionados ao DH e ao meio ambiente (PELENC et al., 2013), e é nesta vertente que o trabalho atual caminha.

Complementar a estes pontos mencionados, são poucos e muito recentes os estudos relacionando o DH com a EC, como por exemplo Schröder et al. (2020). Sendo a EC um conceito emergente, faz-se necessário o entendimento das relações existentes entre a adoção de suas ações, principalmente em questões macros, com o DH.

Além disso, Sauvé et al. (2016) também pontua que a integração entre as disciplinas de ciências naturais, ciências sociais, engenharia e gestão tornou-se essencial para enfrentar os desafios ambientais atuais. Esta é uma tarefa difícil porque especialistas de diferentes áreas conceituam os problemas de maneiras diferentes e usam vocabulários que podem não ser bem compreendidos uns pelos outros.

1.3 Estrutura da tese

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, sendo um deles esta introdução. No Capítulo 2, Fundamentação Teórica, são apresentados os conceitos chave, baseados na literatura, que sustentarão o desenvolvimento desta pesquisa. No Capítulo 3, Método de Pesquisa, são abordados os principais aspectos metodológicos desta tese, bem como o roteiro de pesquisa. No Capítulo 4, estão relacionados os Resultados da pesquisa. No Capítulo 5 são apresentadas as Discussões. E, no Capítulo 6 são apresentadas as Conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos teóricos que servem de base para o desenvolvimento desta pesquisa. Primeiramente, apresenta-se a EC e seus níveis de abrangência (micro, meso e macro), assim como seus indicadores. Posteriormente, conceitua-se Abordagem das Capacidades, bem como suas principais aplicações nas análises do Desenvolvimento Humano e da Desigualdade (geral e de gênero).

2.1 Introdução à Economia Circular

A EC é um tema crescente que visa promover a responsabilidade e uso cíclico de recursos, possivelmente contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Embora a EC seja um conceito abrangente (BLOMSMA; BRENNAN, 2017; HOMRICH et al., 2018), ela é entendida globalmente como uma abordagem para promover a responsabilidade e o uso cíclico de recursos. Nos últimos anos, foi endossada como uma política para minimizar os encargos para o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico (MORAGA et al., 2019), dissociando o crescimento econômico do uso de recursos naturais (CULLEN, 2017).

No entanto, na prática, a implementação da EC exige uma abordagem global, multinível e em várias escalas para o desenvolvimento de inovação em políticas, governança, modelos de negócios e questões econômicas (SCHRÖDER et al., 2020).

A economia circular é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade construindo capital econômico, natural e social. Isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos e eliminar resíduos do sistema por meio de princípios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

A adoção de práticas de EC aparece como uma opção oportuna, relevante e prática para atender às metas do DS (SAIDANI et al., 2019). Embora DS apresente uma abordagem mais ampla, práticas circulares contemplam meios para atingi-lo. Ou seja, a EC faz parte do DS.

De fato, Schröder et al. (2019) mostrou que a implementação das abordagens de EC pode ser aplicada como ferramentas para alcançar um número considerável de destinos DS. Nesse sentido, a CE está sendo explorada como um possível caminho para

aumentar a sustentabilidade do sistema econômico e o objetivo final dela pode ser um “real” DS (ELIA et al., 2017; LINDER; WILLIANDER, 2017).

Perante à luz da discussão de Desenvolvimento Humano (DH), Schröder et al. (2020) apresentam a EC baseada em uma definição que apoia a equidade social, ou seja, um sistema socioeconômico restaurador centrado no homem que permite uma aumento das escolhas humanas e constrói as capacidades humanas, recapturando o valor dos materiais e resíduos para as pessoas através da uso prolongado, fechando e estreitando loops de materiais e energia que minimizam os recursos, insumos e resíduos, emissões e vazamento de energia. Para Schröder et al. (2020), isso pode ser alcançado capacitando os trabalhadores, permitindo a inclusão social e promovendo estilos de vida sustentáveis através da aplicação de práticas e políticas para projeto e manutenção duradouros e centrados no homem, garantindo direitos a reparo, reutilização, compartilhamento, remanufatura, remanufatura e reciclagem.

A abordagem circular defende a permanência do material o maior tempo possível na economia. Após um produto chegar ao fim de seu ciclo para o primeiro consumidor, ele pode ser compartilhado ou reutilizado para outros fins e, assim, ter sua utilização ampliada. A EC visa mitigar o conceito de “resíduo” através da evolução de projetos e sistemas que privilegiem o uso de materiais naturais que possam ser totalmente recuperados. Portanto, refere-se a um modelo econômico que requer transformações nas cadeias produtivas, nos padrões de consumo e o redesenho de sistemas, permitindo elaborar uma estratégia de desenvolvimento que gera crescimento econômico e desenvolvimento humano por meio da otimização do consumo de recursos naturais (SAKAI et al., 2017; WEBSTER, 2013).

Este contexto abordado pela circularidade diverge dos modelos de produção e economia impostos pelo modelo linear, que são baseados na obtenção de recursos virgens, produção de produtos e bens para humanos e descarte de resíduos na natureza (CHENG et al., 2019). Entretanto, esse modelo de vida e de padrões de consumo é insustentável (SHOVE, 2010), podendo alavancar diversos problemas sociais, tais como ameaças à saúde, alterações nos padrões de doenças, maiores níveis de mortalidade e problemas com água potável (COSTELLO et al., 2009; ERIKSSON et al., 2017).

Por isso, a EC busca equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade (SAUVÉ et al., 2016), trabalhando com modelagem e implementação de práticas e conceitos de EC nos níveis micro (empresa ou consumidor), meso (parques eco

industriais) e macro (nações, regiões e cidades) (GHISELLINI et al., 2016). Então, passa a ser uma alternativa para se projetar um padrão econômico e social voltado ao aumento da eficiência da produção e do consumo, por meio do uso apropriado da reutilização e da troca de recursos. Para isso, os sistemas de produção e consumo precisam ser estruturados de tal forma que seus processos e produtos possam se beneficiar da troca de recursos e da interação entre seus componentes (GHISELLINI et al., 2016). A transição para uma economia circular envolve a implementação de novas abordagens tecnológicas (CECCONET et al., 2017), utilização de novos modelos de negócios, projetos de *closed loop* (é a reutilização de resíduos para a produção de um produto de igual qualidade quando comparado a um produto feito com materiais virgens) e simbiose industrial (EUROPEAN COMMISSION, 2015; BOCKEN et al., 2016; LAINEZ et al., 2017; MAINA et al., 2017).

A estruturação da EC é baseada na reconstrução do capital, seja ele financeiro, manufaturado, humano, social ou natural, garantindo fluxos aprimorados de bens e serviços e oferecendo diversos mecanismos de criação de valor dissociados do consumo de recursos finitos (GHISELLINI et al., 2016).

Os recursos dentro do modelo circular se regeneram no ciclo biológico e são recuperados e restaurados no ciclo técnico, sendo que ambos os ciclos caracterizam a EC (MURRAY et al., 2017). A Figura 2 resume as etapas de ambos os ciclos mencionados acima.

Figura 2: Ciclos biológicos e Ciclos técnicos



Fonte: Adaptado de Ellen McArthur (2017a).

No ciclo biológico, também chamados de biogeoquímicos, os processos naturais da vida regeneram materiais, através da intervenção humana ou sem ela. Os ciclos biogeoquímicos abordam redução na extração de recursos naturais e na gestão de fluxos

de recursos renováveis. O consumo acontece apenas nestes ciclos, em que os alimentos e os materiais de base biológica são projetados para retornar ao sistema por meio de processos como compostagem e digestão anaeróbica. Esses ciclos regeneram sistemas vivos, como o solo, que fornecem recursos renováveis para a economia.

No ciclo técnico, desde que haja energia suficiente, a intervenção humana recupera e restaura produtos, componentes e materiais por meio de estratégias como reutilização, reparo, remanufatura ou reciclagem. Ciclos técnicos visam aplicar os 3Rs - Reduzir, Reutilizar e Reciclar - para recuperar o valor circulando o desperdício em cadeias de suprimentos como fonte de matérias-primas. Também envolvem a gestão dos estoques de materiais finitos (MURRAY et al., 2017; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017a).

Entretanto, a complexidade do EC impacta as organizações, suas cadeias de suprimentos, os governos e a sociedade, sendo necessário reformular o debate sobre a política de sustentabilidade (GENG; DOBERSTEIN, 2008; PARK et al., 2010; GENG et al., 2013; GENG et al., 2016; STAHEL, 2016). Assim, é necessário compreender como se constitui este cenário.

A princípio, é necessário distinguir os já mencionados ciclos biológicos e técnicos, que são conduzidos por três princípios propostos pela fundação Ellen MacArthur (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015). São eles: (a) controlar o equilíbrio entre fluxos de recursos finitos e recursos renováveis; (b) circular o uso de materiais, componentes e produtos; e (c) minimizar externalidades dos sistemas de produção e consumo, aplicando novos modelos de negócios.

O primeiro princípio refere-se a necessidade de preservação e aumento do capital natural através do controle de estoques finitos e equilíbrio dos fluxos de recursos renováveis. Este princípio, que engloba atividades que repercutem em ambos os ciclos, foca na desmaterialização dos produtos e serviços através de propostas como, por exemplo, entrega virtual por aplicativos em vez de recibos físicos. Quando a necessidade de utilização de recursos primários é imprescindível, a EC busca a seleção dos mesmos com sensatez e prioriza tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou apresentam melhor desempenho. Além disso, este princípio garante um fluxo de nutrientes no sistema e cria condições necessárias para a regeneração (como, por exemplo, a do solo), estimulando o aumento do capital natural (PARK et al., 2010; GENG et al., 2013; GHISELLINI et al., 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

Preocupações com modelos de negócios como regeneração, substituição por materiais renováveis, restauração de recursos já utilizados e virtualização devido ao direcionamento de interesse na função e não na posse dos produtos, são atividades que repercutem, desde o princípio, na redução de resíduos e de efeitos negativos ao meio ambiente. Gestão de estoque também é uma atividade pertencente a este princípio e permite que o uso eficiente dos materiais prolongue sua permanência na cadeia (LEWANDOWSKI, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; MURRAY et al., 2017).

O segundo princípio, focado em circular os produtos que já ingressaram na cadeia, divide suas atividades entre os ciclos técnico e biológico (LEWANDOWSKI, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; MURRAY et al., 2017). Então, refere-se à otimização da produção de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico. Isto visa o desenvolvimento de produtos para a remanufatura, a reforma e a reciclagem, de modo que componentes e materiais continuem circulando. Esses sistemas circulares preocupam-se em preservar energia, prolongar a vida útil dos produtos, disseminar a ideia de compartilhamento para ampliar a utilização dos produtos, intensificar a reutilização, entre outros tipos de valores envolvidos no processo. O mesmo é válido para materiais biológicos já usados, extraindo valiosas matérias-primas bioquímicas e destinando-as à aplicações que não terão sua eficiência comprometida (PARK et al., 2010; GENG et al., 2013; GHISELLINI et al., 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

No ciclo técnico, os resíduos retornam à cadeia como recursos para um novo ciclo por meio de atividades de compartilhamento, reutilização, remanufatura, renovação e reciclagem. O compartilhamento é um modelo de negócio da EC que acontece entre os próprios usuários; a reutilização estende a vida útil do produto na cadeia por meio, geralmente, de prestadoras de serviço que incluem-no no ciclo novamente; a organização trabalha com a remanufatura e os fornecedores com a reciclagem, transformando bens antigos em recursos novos (LEWANDOWSKI, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; MURRAY et al., 2017).

Entretanto, essas não são as mesmas atividades desenvolvidas quando o foco é o ciclo biológico. Embora a passagem pela cadeia seja a mesma, os clientes finais são consumidores e não usuários. Assim, seus resíduos só conseguem ser reinseridos na cadeia através de processos químicos. Os próprios consumidores conseguem reaproveitar

os resíduos gerados através do uso e aproveitamento em cascata. As demais atividades permitem que os resíduos retornem à cadeia através do elo fornecedor. Estas atividades englobam extração de matérias bioquímicas, digestão anaeróbica, regeneração e agricultura que utilize os resíduos como recursos. O biogás é um produto pertencente as atividades do ciclo biológico que merece destaque por não depender do elo fornecedores para que ele contribua com a circularidade (LEWANDOWSKI, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b; MURRAY et al., 2017).

O terceiro e último princípio refere-se a necessidade de fomentar a eficácia do sistema revelando as externalidades negativas e excluindo-as dos projetos. Este princípio aborda a redução de danos a produtos e serviços de que os seres humanos precisam (como alimentos, mobilidade, habitação, educação, saúde e entretenimento) e a gestão de externalidades (por exemplo, poluição sonora, liberação de substâncias tóxicas e mudança climática) (PARK et al., 2010; GENG et al., 2013; GHISELLINI et al., 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017b).

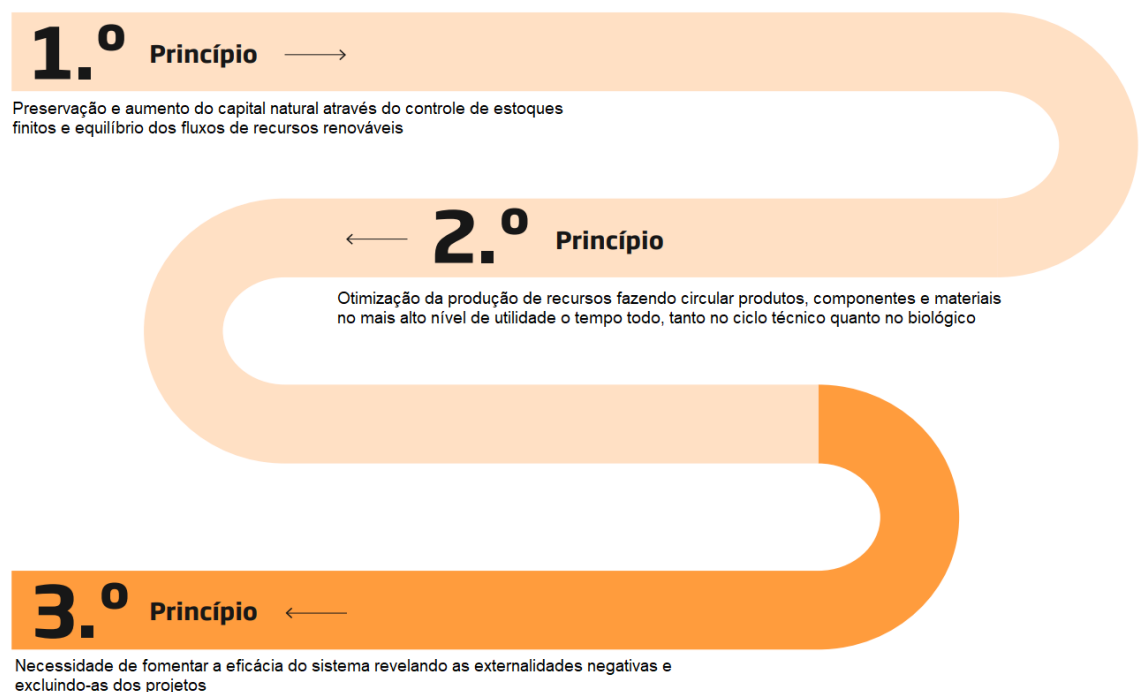
As externalidades negativas são caracterizadas por atividades que geram custos não precificados, atingindo pessoas que não participam desse mercado. Um exemplo de externalidade negativa é o custo social e ambiental do descarte de resíduos sólidos. O preço dos produtos não considera que os resíduos de consumo – como embalagens, materiais eletroeletrônicos velhos, restos de alimentos, entre outros – terão de ser descartados, com custo ambiental e social. O custo ambiental do descarte de resíduos sólidos pode ser verificado, por exemplo, no prejuízo à fauna marinha, que convive com quantidades cada vez maiores de resíduos poluentes, tendo experimentado reduções de população. O custo social, por sua vez, pode ser verificado na formação de lixões, que contaminam o solo próximo à população, concentram vetores transmissores de doenças, entre outros (CNI, 2018).

Caso o preço dos produtos refletisse o custo do descarte de resíduos, o preço dos produtos, cujos resíduos demoram mais para se degradar, seria mais elevado, na comparação com produtos biodegradáveis ou recicláveis, por exemplo. Isso também faria com que produtos em cadeias organizadas para minimizar a geração de resíduos, como as circulares, se tornassem mais baratos comparados aos produtos em cadeias de produção lineares. Assim, o perfil de produção e consumo se tornaria mais próximo ao socialmente desejável. As emissões de gases do efeito estufa constituem outro exemplo de externalidade negativa na produção e no consumo de bens e serviços. O custo social das emissões, representado pelas mudanças climáticas, com consequências sobre todo o

planeta, não está contabilizado nem pelas empresas que geram os produtos, nem pela população que os consome. O motorista que dirige um veículo muito poluente se preocupa com o valor desse veículo no momento da compra e com o valor do combustível. Nenhum desses valores contempla o custo social das mudanças climáticas, intensificadas pelas emissões poluentes (CNI, 2018).

Dessa forma, o custo individual é menor do que o custo social, e o preço apresentado ao consumidor é menor do que o preço ideal para a sociedade. Como o preço individual é o único observado, a quantidade de consumo e de emissões é superior àquela que seria ideal para a sociedade como um todo (CNI, 2018). A Figura 3 apresenta, em síntese, os princípios da EC explanados acima.

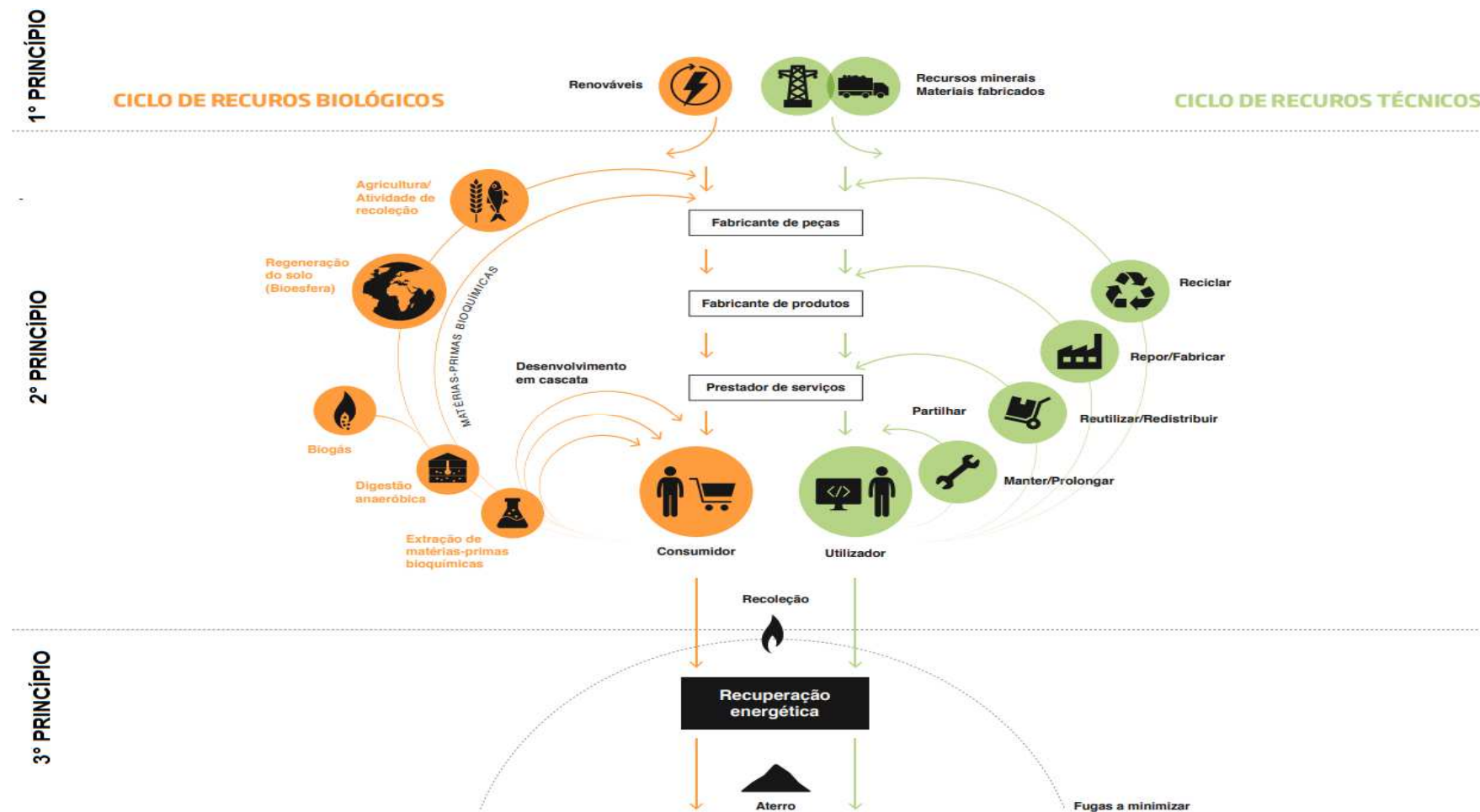
Figura 3: Princípios da EC



Fonte: Adaptado de Tâmega e Sousa (2021).

A Figura 4 ilustra o diagrama sistêmico da EC que fornece uma visão da esfera tecnológica e sua interação com a esfera biológica (McDONOUGH et al., 2003), relacionando-os com os três princípios em que a EC se fundamenta através de um círculo de valor (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017a). A desvantagem deste diagrama é o papel limitado da sociedade como sendo apenas consumidores ou usuários (SCHRÖDER et al., 2020).

Figura 4: Ciclos de recursos biológicos e técnicos da EC



Fonte: Adaptado de Ellen Macarthur Foundation (2017a).

2.2 Níveis da Economia Circular

A EC pode ser adaptada para ser estudada em três níveis: o nível organizacional (micro), o nível de parques eco industriais (meso) e nível de eco cidade (macro) (YUAN et al., 2006; PARK et al., 2010). Nos níveis micro e meso, os sistemas de avaliação da EC não incluem indicadores de componentes sociais. No nível macro, a disponibilidade de dados estatísticos pode dificultar a análise necessária (BANAITÈ, 2016).

Assim, a EC pode ser analisada a partir de três níveis diferentes que exigem diferentes indicadores de avaliação e, o primeiro passo para bons sistemas de avaliação é definir indicadores apropriados em cada nível de implementação (GHISELLINI et al., 2016).

2.2.1 Micro

No nível da empresa, a EC concentra-se principalmente no design ecológico e estratégias e ações de produção mais limpa. Elas são incentivadas a realizar o design ecológico e cobradas por auditorias, divulgando publicamente informações sobre desempenho ambiental para que o público possa monitorar sua operação (PINTÉR, 2006; YUAN et al., 2006).

Nível micro significa implementar princípios de EC para uma única empresa. Para avaliar a EC nesse nível, cada empresa precisa definir indicadores de acordo com as características, condições e problemas existentes. Assim, a definição muito unificada e apenas um padrão de indicadores pode falhar em capturar o pleno desenvolvimento da EC em diferentes empresas (SU et al., 2013).

A adoção de princípios de EC implica que uma empresa realize diferentes estratégias para melhorar a circularidade do seu sistema de produção. As empresas de produção precisam cooperar com outras empresas na cadeia de suprimentos para obter um padrão circular mais eficaz (WINKLER, 2011). A avaliação da EC em nível micro é baseada em uma produção mais limpa (P+L), consumo verde, entre outras, porém esta não é uma abordagem completa da EC. Esses sistemas de avaliação contêm indicadores baseados principalmente nos princípios 3R, mas não a EC em geral (BANAITÈ, 2016; SAIDANI et al., 2019).

2.2.2 Meso

O objetivo principal nível meso (nível interempresarial) é incentivar o desenvolvimento de parques e redes eco-industriais que beneficiarão tanto a economia regional quanto o ambiente natural (YUAN et al., 2006; GENG et al., 2008).

O consumo nas indústrias de processo gera muitos problemas ambientais graves e esses derivados de produção são avaliados no nível meso (YUAN et al., 2006; LI et al., 2010). Porém, através da aplicação do conceito de simbiose industrial é possível minimizar esta situação utilizando uma infraestrutura e serviços comuns. Isso permite o gerenciamento cooperativo dos fluxos de recursos e enfatiza a comercialização de produtos industriais que diminuem os problemas ambientais e reduzem a dependência de recursos naturais. Além disso, reduz o custo de produção, aumenta a produtividade industrial e competitividade, tornando algo atrativo às organizações (PARK et al., 2010; HESHMATI, 2015).

Portando, aplicando EC e conceitos de desenvolvimento sustentável, a medição através de indicadores apropriados ajudará a controlar o desempenho destes parques industriais e garantirá tomadas de decisões mais assertivas (BANAITÊ, 2016; GHISELLINI et al., 2016).

2.2.3 Macro

Finalmente, o nível macro/nacional promove atividades sustentáveis de produção e consumo e visa criar uma sociedade orientada para a reciclagem (GENG et al., 2008; LI et al., 2013; GENG et al., 2012). Assim, o desenvolvimento da EC em questões macros envolve a integração e o redesenho de quatro sistemas: o sistema industrial (por exemplo, a eliminação gradual das empresas poluentes pesadas a favor de atividades econômicas leves relacionadas às indústrias de alta tecnologia, turismo ou cultura), o sistema de infraestrutura que presta serviços (por exemplo, os sistemas de transporte e comunicação, sistemas de reciclagem de água, energia limpa e etc.), a estrutura cultura e o sistema social (MIRATA; EMTAIRAH, 2005; ZHIJUN; NAILING, 2007; NESS, 2008; NAUSTALSLID, 2014).

Mirata e Emtairah (2005) identificaram que fatores culturais e territoriais como nível de conhecimento, aprendizado e até mesmo a localização geográfica são importantes para as questões de inovação processo, inclusive para questões ambientais.

Portanto, inovação e aprendizagem coletiva constituem importantes facilitadores para competitividade regional e melhoria da sustentabilidade ambiental.

Um passo importante em direção a indicadores adequados é garantir que o monitoramento possa apoiar as ações da EC em direção a um relacionamento sustentável entre as questões ambientais e os seres humanos (HELANDER et al., 2019).

No nível macro, são necessários indicadores da EC no intuito de avaliar, monitorar e melhorar várias políticas e programas. Entretanto, a elaboração de políticas precisa de informações para poder selecionar indicadores específicos para que possam cobrir totalmente o objetivo estratégico do desenvolvimento da EC. Assim, é importante conhecer a situação dos países para que indicadores e índices sejam cada vez mais aceitos como ferramentas úteis porque transmitem informações de desempenho de um país em relação aos seus objetivos específicos nos três principais pilares da sustentabilidade (equidade social, bem-estar econômico, qualidade ambiental) (GHISELLINI et.al., 2016).

Entretanto, a criação de um sistema de avaliação da EC apresenta desafios, sendo um deles a consideração apenas de métricas referentes, por exemplo, a redução da poluição e/ou outras questões de cunho apenas ambiental (BANAITÈ, 2016).

2.3 Indicadores da Economia Circular

Indicadores inovadores são importantes ao cenário da EC, uma vez que existe a necessidade de avaliar o desempenho de sistemas orientados para EC (SANGATA et al., 2020). Além disso, os indicadores são uma maneira de avaliar mudanças e, portanto, poderiam ser usados como uma ferramenta importante para apoiar a evolução de uma economia linear para uma mais circular (SAIDANI et al., 2017)

Todavia, indicadores utilizados anteriormente para métricas de cunho ambiental não são capazes de acompanhar adequadamente os *feedbacks* e interconexões dentro da EC (BROWN; ULGIATI, 2011; GIANNETTI et al., 2015). Estas ferramentas de avaliação monodimensionais usadas até o momento (energia acumulada, exergia etc.) não abordam aspectos de circularidade porque o interesse sobre o tema ainda recai mais sobre a avaliação do custo ambiental do que no monitoramento da circularidade. Assim, é reconhecido que os indicadores voltados para a EC devem abordar algumas capacidades que foram ignoradas até hoje (SANGATA et al., 2020).

Complementarmente a isto, o contexto atual enfrentado pela sociedade referente aos recursos em declínio reforça a necessidade de indicadores relacionados à EC para um

monitoramento e uma avaliação adequados dos sistemas social e econômico (GENG et al., 2016).

A EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL (EASAC), através de suas análises, descobriu que muitos indicadores disponíveis podem ser apropriados para monitorar o progresso em direção a uma economia circular. Esses indicadores foram agrupados em desenvolvimento, meio ambiente, análise de fluxo de materiais, comportamento social, comportamento organizacional e performance econômica (EASAC, 2016).

Para Huamao e Fengqi (2007), a EC deve ser um meio de alcançar unificação entre benefícios econômicos, ambientais e sociais e, finalmente, realizar o objetivo de desenvolvimento sustentável.

De acordo com Geng et al. (2012), aspectos críticos na avaliação da EC são a falta de: (i) indicadores socioambientais; ii) indicadores de sinergias urbanas/industriais; (iii) indicadores de responsabilidade e sustentabilidade das negócios; (iv) indicadores orientados para a prevenção (ou seja, material/redução de energia, taxa de rede). Portanto, os indicadores da EC necessitam incorporar a dimensão ambiental, como a conservação de capital, diminuição da poluição, proteção ambiental, etc., e dimensão social como qualidade da alimentação e educação, emprego, participação estratégica, etc.

Assim, busca-se por indicadores abrangentes capazes de incluir as características peculiares da estrutura da EC dentro das estratégias, políticas e implementação da tomada de decisão (SANGATA et al., 2020). Entretanto, esses sistemas de indicadores de circularidade não medem aspectos sociais (SCHRÖDER et al., 2020).

Uma estrutura de indicadores que combine o IDH com indicadores de EC pode ser usada para medir o progresso em direção a ambos, avaliando a redução de impactos ambientais por meio do aumento da circularidade e progresso em direção aos objetivos de DH. Embora não exista um indicador que possa ser uma medida única para o EC, vários indicadores existentes podem ajudar a medir o desempenho circular em várias áreas que diretamente ou indiretamente contribuem para a EC e o DH (SCHRÖDER et al., 2020).

Esta pesquisa abordará apenas indicadores macros. Uma das iniciativas críticas da *National Development and Reform Commission* (NDRC), um dos ministérios que iniciou programas para promover a aplicação da EC, é o lançamento dos indicadores nacionais de EC da China em 2007, o primeiro do mundo (GENG et al., 2013). De fato, publicações

acadêmicas sobre o nível macro da EC vem principalmente de casos relacionados à China (HOMRICH et al., 2018).

Para entender os indicadores usados na EC e o que eles medem especificamente, Morgara et. al. (2019) propõem uma estrutura de classificação para categorizar indicadores de acordo com o raciocínio sobre o que (estratégias de EC) e como (mensuração escopo). Assim, o escopo da medição da EC busca evidenciar seus efeitos nas dimensões ambiental, social ou econômica (MORAGA et al., 2019).

A avaliação da EC pode depender de indicadores diretos e indiretos quando os dados não estiverem disponíveis, por exemplo ainda não é possível avaliar a proporção de Sistemas de Serviços de Produtos (PSS) relacionada à EC, mas dados indiretos do relatório e pesquisas das empresas podem fornecer uma análise preliminar (EEA, 2017).

Quando os indicadores da EC podem se concentrar em uma ou mais estratégias identificáveis, por exemplo “Taxa de reciclagem”, pode-se considerar que estes dados são diretos e mencionam claramente conceitos da EC (GRAEDEL et al., 2011). Ou, quando os indicadores se concentram em mais de uma estratégia, porém não é possível reconhecer o valor explícito de cada uma destas estratégias, refere-se à indicadores diretos mais com estratégias inespecíficas, por exemplo “Retirada de água” (GENG et al., 2012).

Os indicadores podem avaliar aspectos das estratégias de EC, mas com o uso de abordagens auxiliares, abordando os conceitos da EC de forma indireta; um exemplo é “Índice deecoinovação” que pode fazer referência à eficiência de recursos (MORAGA et al., 2019).

Atualmente, o monitoramento da CE em escala macro inclui métodos usando Análise de Fluxo de Material (AMF), Análise de emergências e Análise de entrada e saída (KALMYKOVA et al., 2018; MORAGA et al., 2019). Entretanto, estes indicadores macros não são abrangentes o suficiente para mensurar a real circularidade de uma economia e avaliar como os países se classificam diante deste modelo circular (SANGATA et al., 2020).

Diante do conteúdo explanado até o momento e da necessidade de compreendê-lo sob a perspectiva humana, as próximas seções abordarão sobre o DH e como relações entre ele e EC podem ser desenvolvidas.

2.4 Abordagem das Capacidades

O economista Amartya Sen introduziu o conceito de Capacidades nos anos 1970 e apresentou uma nova perspectiva de análise para retratar o bem-estar humano que até então tinha o seu bem-estar avaliado por uma única vertente econômica (DENEULIN; MCGREGOR, 2010).

A abordagem das Capacidades de Amartya Sen defende o bem-estar e a qualidade de vida de uma perspectiva que vai além da geração de renda. Isso porque o autor entende que o bem-estar de uma pessoa não depende simplesmente do quão rico ele ou ela é. O foco deixa de ser na renda e no consumo e passa a ser nos recursos que criam oportunidades, como oportunidades sociais, segurança, liberdade política, garantia de transparência e facilidade econômica (SEN, 1999).

Capacidade refere-se ao que as pessoas são realmente capazes de ser, ter e fazer, independente dos recursos aos quais as mesmas têm acesso. Sendo assim, as pessoas devem ter a liberdade para escolher os valores que desejam para a sua vida (SEN, 1999) e deve existir um leque de opções para que uma pessoa possa decidir que vida ela irá levar (DREZE et al., 1999). A capacidade é, portanto, a liberdade de alcançar vários estilos de vida, tendo acesso às informações e com capacidade de refletir sobre os seus próprios valores. A oportunidade de desenvolver capacidades e o processo de decisão sobre o valor destas capacidades geram liberdade (WALKER, 2005).

As liberdades defendidas na abordagem das Capacidades podem ser categorizadas de diversas formas. Em seu livro “Desenvolvimento como liberdade”, Sen propõem a classificação em cinco tipos, sendo eles: segurança protetora, liberdades políticas, facilidades econômicas, oportunidades sociais e garantia de transparência. Cada uma dessas liberdades constitui e ajuda a promover a capacidade de uma pessoa (SEN, 1999; MITRA, 2006; ROBEYNS, 2006).

Para Sen, a concepção de desenvolvimento centrada em liberdades permite que o indivíduo possa migrar de um estado de “paciente” para “agente”. Com oportunidades sociais adequadas, uma pessoa pode moldar seu próprio destino e ajudar outras pessoas, não precisando ser visto como um beneficiário passivo do sistema ao qual faz parte. Assim, o agente ocupa uma posição de membro que age e ocasiona mudanças podendo ser participante de ações econômicas, sociais e políticas em atividades individuais ou conjuntas (SEN, 1999).

Essas ideias desenvolvidas por Amartya Sen constituem os princípios centrais de uma abordagem de desenvolvimento conhecida como desenvolvimento humano (DH) (PELENC et al., 2013), que é anualmente disseminada pelo Relatório de Desenvolvimento Humano - RDH. O RDH é uma publicação anual do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), que pode ser entendida como uma importante ferramenta para aumentar a conscientização sobre o DH em todo o mundo (UNDP, 2016).

O primeiro RDH, de 1990, tinha como objetivo colocar as pessoas no centro do processo de desenvolvimento em termos de debate econômico, político e jurídico. O desenvolvimento foi caracterizado pela promoção da ampliação de escolhas e liberdades, resultando em uma ampla gama de resultados (PNUD, 2019b). Embora os primeiros RDH enfatizassem medidas como a prestação de serviços públicos, os mais recentes se concentraram mais no empoderamento do indivíduo. Além disso, a análise de gênero tem sido central para o desenvolvimento do novo paradigma, de modo que a equidade de gênero tem se tornado uma preocupação central (FUKUDA-PARR, 2003).

Além disso, o RDH apresenta importantes indicadores relacionado a abordagem das capacidades, entre os quais: o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o Índice de Desenvolvimento Humano ajustado a desigualdade (IDHadj), o Índice de Desenvolvimento humano por gênero (IDH-g), o índice de desigualdade de Gênero (IDG) e o Índice de Pobreza Multidimensional (IPM) (PNUD, 2019b).

Com sua riqueza de dados e abordagem inovadora para medir o desenvolvimento, o RDH tem tido grande impacto nas reflexões sobre o tema no mundo todo (PNUD, 2019b).

Assim, Abordagem das capacidades é reconhecida justamente por ir além da questões econômicas, reconhecendo a importância das liberdades defendidas por Sen (1999). Desta forma, a análise torna-se multidimensional e não está focada apenas em educação, saúde, gênero ou pobreza. É necessário contemplar todas estas questões juntas para que haja um delineamento do sistema de forma macro.

2.4.1 Desenvolvimento Humano

A busca pela compreensão dos processos de desenvolvimento, tanto econômicos quanto humanos, tem ganhado destaque (MARIANO et al., 2015; ALVES; MARIANO, 2018; MARIANO, 2019; MODESTINO; PAULSEN, 2019). O desenvolvimento

humano, ainda que bem disseminado teoricamente, apresenta uma necessidade significativa de real compreensão (MARIANO et al., 2015). O conceito nasceu definido como o processo de ampliação das escolhas das pessoas para que elas tenham capacidades e oportunidades para serem aquilo que desejam ser (PNUD, 2019a).

Diferentemente da perspectiva do crescimento econômico, que vê o bem-estar de uma sociedade apenas pelos recursos ou pela renda que ela pode gerar, a abordagem de desenvolvimento humano procura olhar diretamente para as pessoas, suas oportunidades e capacidades. A renda é importante, mas como um dos meios do desenvolvimento e não como seu fim. É uma mudança de perspectiva: com o desenvolvimento humano, o foco é transferido do crescimento econômico, ou da renda, para o ser humano (PNUD, 2019a).

A ONU define em seu RDH que o desenvolvimento humano consiste em ampliar as liberdades para que todos os indivíduos possam buscar por escolhas que os mesmos valorizem. Além disso, categorizam tais liberdades como “funcionamentos” (liberdade de bem-estar) e “capacidades” (liberdade de ação) (UNDP, 2016).

Para entender o papel da liberdade e os seus efeitos sobre o bem-estar do indivíduo é necessário explicar o que é considerado liberdade na TC. No DH, a liberdade deve ser entendida como o fim e o meio para um desenvolvimento íntegro (SEN, 1999). Quando se trata do “fim”, as liberdades têm um papel de enriquecimento da vida humana, possibilitando que o indivíduo tenha condições de evitar a fome e a morte prematura, saiba ler e escrever, tenha participação política e liberdade de expressão, entre outras liberdades. Quando vistas como “meio”, elas têm um papel de instrumento para o desenvolvimento (ROBEYNS, 2006).

A partir destas liberdades, o indivíduo começa a definir seus valores para a vida, aquilo que é valioso para ele. Então, os funcionamentos são gerados a partir das escolhas do indivíduo relacionadas ao ser, ao ter e ao fazer (MITRA, 2006). Portanto, quanto maior o número de combinações de funcionamentos possíveis para o indivíduo, maior será sua capacidade, ou seja, mais liberdade ele terá (ROBEYNS, 2006).

Por exemplo, o funcionamento de indivíduo de realizar escolhas sustentáveis (que é uma escolha baseada em valores), como optar por aquecedores solares ou construir cisternas para reaproveitamento da água de chuvas (funcionamento), exigirá que ele tenha as capacidades de ter renda e, portanto, estar empregado, e de ter um conhecimento básico para decidir qual dos aquecedores ou maneira de construir as cisternas são mais eficientes (ROBEYNS, 2006).

Cabe mencionar, que direitos humanos não são capacidades. O primeiro refere-se ao indivíduo ter meios para realizar o que deseja. O segundo refere-se ao que a pessoa é capaz de fazer com esse direito (SEN, 2005). Por exemplo, uma pessoa tem o direito básico de ter energia, uma vez que temperaturas extremas podem levá-la à óbito. Se ela possui liberdade suficiente, terá a capacidade de escolher fontes renováveis para este fim contribuindo com o meio-ambiente. Porém, se esta capacidade for reduzida, a escolha estará pautada em conseguir energia através de fontes não renováveis (SOVACOOOL et al., 2017).

Assim, a abordagem do desenvolvimento humano complementou a forma de avaliação do bem estar humano realocando os seres humanos para o centro de ações políticas, econômicas e da sociedade. A preocupação central não é mais a eficiência, mas o quanto determinada situação afeta a qualidade de vida dos indivíduos (GOR; GITAU, 2010).

Uma maneira de operacionalizar a abordagem do DH foi a criação de um índice que mede o nível de escolhas (capacidades) das pessoas, conhecido como Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), desenvolvido pelo economista paquistanês Mahub Uh Haq (GOR; GITAU, 2010). O IDH é uma medida resumida para avaliar o progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: uma vida longa e saudável, acesso ao conhecimento e um padrão decente de vida (PNUD, 2019c). Assim, o IDH é uma média geométrica entre esses três índices, onde todos eles apresentam o mesmo peso (UNDP, 2018a).

A expectativa de vida foi escolhida como um índice de longevidade. O índice de conhecimento é medido pela média de anos de escolarização, que é o número médio de anos de educação recebidos durante a vida por pessoas com mais de 25 anos, e pela expectativa de anos de escolaridade, que é o número total de anos de escolaridade que uma criança na idade de iniciar a vida escolar pode esperar receber se os padrões prevalentes de taxas de matrículas específicas por idade permanecerem os mesmos durante a vida da criança. Quanto ao padrão de vida, ele é medido PIB per capita ajustado pela Paridade do Poder de Compra, que é um índice de acesso a uma multiplicidade de escolhas (UNDP, 2011).

O IDH apresenta faixas que classificam o desenvolvimento humano, permitindo agrupar países com IDHs semelhantes e direcionar políticas de ajuda internacional. Assim, quanto mais próximo de 1 for o IDH, melhor o desenvolvimento humano do país. De 0 a 0,54, o IDH é considerado baixo; de 0,55 a 0,69, o IDH é considerado médio; de

0,70 a 0,79, o IDH é considerado alto; de 0,8 a 1,0, o IDH é considerado muito alto (UNDP, 2018b).

Os seguintes princípios orientadores estavam no centro da formulação do IDH: ser um índice composto (multidimensional); inclusão de um número limitado de variáveis para mantê-lo simples; abrangência de medições sociais e econômicas; e uma metodologia flexível para permitir refinamentos graduais ao longo do tempo (UNDP, 1995).

Assim, desvelada para o mundo em 1990 pelo PNUD, o IDH foi desenvolvido como uma alternativa ao PIB e outras medidas baseadas na renda. Seu objetivo principal era medir escolhas, que fossem além da renda (UNDP, 1995).

2.4.2 Desigualdades de capacidades

A desigualdade tem consequências significativas para o bem-estar dos indivíduos e para o desenvolvimento econômico. Diante disso, esta questão ganhou espaço entre as preocupações mundiais e ações contra a desigualdade têm repercutido no desenvolvimento humano (DILLI et al., 2019) através de melhoria na educação das crianças (CURRIE; MORETTI, 2003), redução na corrupção do governo (DOLLAR et al., 2001) e aumento no crescimento econômico (KLASEN; LAMANNA, 2009).

As análises de desigualdade tendem a se concentrar nas desigualdades de renda e de riqueza. Embora essas contribuições sejam valiosas, dado que renda e riqueza não expressam adequadamente a qualidade de vida, é necessário avaliar a desigualdade com base em informações relacionadas a qualidade de vida das pessoas. Essas duas bases de informação não são excludentes, de modo que a desigualdade de riqueza pode dizer algo sobre a geração e a persistência de desigualdades de outros tipos, que impactam na redução de liberdade do indivíduo (SEN, 1999).

O acesso à oportunidades influencia diretamente nas liberdades dos indivíduos e, consequentemente, contribui positivamente para a redução dos níveis de desigualdade. Entretanto, por desafios políticos, econômicos e sociais, principalmente nos últimos anos, estas oportunidades (estudos, emprego, saúde, entre outros) estão cada vez menos acessíveis à sociedade de forma geral e é reconhecido que uma das principais causas subjacentes do aumento da desigualdade é, justamente, a diminuição destas oportunidades (MODESTINO; PAULSEN, 2019).

Diante deste cenário e em resposta a essas tendências, além das consequências que isso representa ao desenvolvimento e ao bem-estar humano, existe uma busca por soluções que permitam envolver os indivíduos, sem distinção, em oportunidades distintas (sociais, políticas, econômicas). Para isto, é necessário oferecer diversas opções, com diferentes requisitos, para que haja oportunidade para todos (MODESTINO; PAULSEN, 2019).

Um campo no qual as desigualdades são particularmente difíceis de serem avaliadas é o das diferenças de gênero e este aspecto de desigualdade tem sido alvo de grande atenção. Existem muitas evidências gerais de que, frequentemente, as mulheres estão em uma situação pior que os homens e sofrem de muito mais privações. Essas diferenças aparecem de várias maneiras, algumas sutis e outras grosseiras, em diversas partes do mundo, tanto em países ricos como pobres. Não é fácil, contudo, decidir qual é o melhor indicador de melhorias em termos de quais diferenças de gênero devem ser examinadas. Certamente não há necessidade de utilizar apenas uma métrica, mas sim uma pluralidade de indicadores (SEN, 1993).

Como dito anteriormente, o IDH é uma medida média das conquistas de desenvolvimento humano em um país, que mascara a desigualdade na distribuição do desenvolvimento humano entre a população (UNDP, 2011). Existem dois tipos de abordagens utilizadas para ilustrar o desenvolvimento humano: a abordagem agregativa e a distributiva. A abordagem agregativa soma de todos os benefícios sociais de uma sociedade, geralmente expresso em termos médios. São muito utilizados por serem mais simples, como, por exemplo, o PIB e o IDH. Já a abordagem distributiva busca verificar como os benefícios sociais se distribuem pela sociedade, sendo muito mais complexo de ser mensurado. Porém, ainda são poucos os índices ajustados pela desigualdade (UNDP, 2018b).

As desigualdades podem estar relacionadas à renda, educação, expectativa de vida, felicidade, entre outros, existentes entre faixas iguais da população, entre gêneros, entre etnias e entre faixas etárias (UNDP, 2018b). Por exemplo, a renda utilizada desproporcionalmente por membros da família priva os membros negligenciados de gozarem das liberdades que deveriam ser oferecidas igualmente a todos (SEN, 1999).

Os índices sociais sensíveis às desigualdades são: IDH ajustado à desigualdade (IDH_{ad}) e o desenvolvimento humano por gênero (IDevG) (UNDP, 2011; UNDP, 2018b).

O IDHad, introduzido em 2010, mensura a desigualdade de cada variável do IDH (expectativa de vida ao nascer, renda e a média do anos de escolarização). Cada um desses subíndices é ajustado com base na desigualdade, "penalizando" o valor médio de cada dimensão de acordo com seu nível de desigualdade. O IDH pode ser visto como um índice de desenvolvimento humano "potencial" e o IDHad como um índice do desenvolvimento humano "real". Portanto, a perda no desenvolvimento humano potencial devido à desigualdade é dada pela diferença entre o IDH e o IDHad e pode ser expressa por um percentual (UNDP, 2011; UNDP, 2018b).

A desigualdade de gênero é uma realidade em muitos países e tem razões históricas e culturais. O IDevG, relacionado ao desenvolvimento humano por gênero, leva em consideração as mesmas dimensões do IDH e os índices são calculados separadamente para homens e mulheres. Por exemplo, em relação a expectativa de vida, é considerado que as mulheres vivem cinco anos a mais que os homens (idade máxima das mulheres é de 87,5 anos e idade máxima dos homens é de 82,5 anos). Assim, calcula-se um IDH para homens e outro para mulheres, e o IDevG é a relação entre o feminino e o masculino (UNDP, 2011; UNDP, 2018b).

2.4.3 Relações entre desenvolvimento humano e Economia Circular

O dilema do desenvolvimento econômico e humano *versus* questões ambientais tem sido generalizado e tornou-se uma discussão em pauta (CHENG et al., 2019), enfatizado pelos conflitos entre as necessidades das pessoas de hoje e a das gerações futuras. Os problemas ambientais decorrentes dos hábitos de consumo em todo o mundo têm agravado esta situação. A própria ideia de um padrão de vida, habilitado por necessidades específicas e determinado por condições fisiológicas ou sociais, depende da natureza da sociedade (MARTINS, 2018).

Essas são questões importantes que devem ser discutidas tendo em vista o papel dos seres humanos não apenas como "consumidores" ou como "pessoas com necessidades", mas considerando mais amplamente o seu papel geral como agentes de mudança. Por isso, os desafios enfrentados nestes diferentes campos – que vão do crescimento da população à explosão do consumo material e à proliferação de desperdício - exigem muito mais do que recomendações técnicas (SEN, 2013).

É possível identificar que diversos autores concordam com a afirmação de que o DH se relaciona com questões ambientais (POLISHCHUK; RAUSCHMEYER, 2012;

BALLET et al., 2013). As questões ambientais influenciam no bem-estar e nas liberdades do indivíduo (MARTINS, 2018) e, por isso, autores como Ballet et al. (2011, 2013), Birkin e Polesie (2013), Demals e Hyard (2014), Martins (2011, 2013, 2016) e Pelenc e Ballet (2015) incentivam o desenvolvimento de pesquisas que vinculem estes temas.

Uma questão que permeia tanto o DH quanto o DS está relacionada à liberdade de escolha. Sen (2013) discute que a escolha pelo cenário e resultados futuros deve ser realizada pela própria geração. A geração atual não pode ditar as preferências das gerações futuras, pois elas podem vir a valorizar os resultados de uma maneira diferente. Mesmo que seja proporcionado a eles um futuro ideal de acordo com os padrões atuais, os valores e os resultados almejados poderão não ser os mesmos. Portanto, a liberdade de escolha é fundamental a todos (MARTINS, 2011, 2018).

Segundo Martins (2013), a abordagem das capacidades também contribui para a seleção de recursos, pois leva em conta a capacidade de convertê-los em bem-estar em diferentes contextos. Isso permite que haja um uso sustentável e sem desperdícios. Essa perspectiva está próxima da concepção de sustentabilidade, centrada na eficiência, na redução de desperdício, e no papel de justiça (MARTINS, 2013). Isso significa que as questões de sustentabilidade devem alcançar a satisfação das necessidades e desejos dos indivíduos, incluindo a justiça entre os seres humanos das gerações presentes e futuras e da relação homem-natureza. Todas estas questões são pertinentes ao DH (BALLET et al., 2013).

O modelo de EC vem de encontro com as questões apresentadas e também com as necessidades substanciais do indivíduo (MARTINS, 2016), além de ser vista como uma condição necessária para a sustentabilidade (GEISSDOERFER et al., 2017). Bocken et al. (2014) identificou a circularidade como um arquétipo de modelos de negócios sustentáveis e, portanto, uma opção para promover a sustentabilidade do sistema.

Nakajima (2000), *United Nations Environment Programme* (UNEP) (2006), Rashid et al. (2013), *Ellen Macarthur Foundation* (2013) e Webster (2017) descrevem a circularidade nos modelos de negócio como pré-condição para o DS, pois a EC é benéfica para diferentes dimensões de sustentabilidade, como produtividade de recursos, criação de empregos e crescimento do PIB (EUROPEAN COMMISSION, 2014). Porém, outras condições devem acompanhar um sistema de circuito fechado para buscar sustentabilidade a longo prazo, como por exemplo uma mudança de estilo de vida da sociedade (RASHID et al., 2013).

As estratégias da EC focam em aumentar a eficiência, na reutilização, na remanufatura, na desmaterialização, entre outras mudanças de fabricação (WEISSBROD; BOCKEN, 2017). Entretanto, poucas relações são discutidas em outras dimensões, especialmente a social, que é um aspecto importante para a sustentabilidade. Portanto, é necessário que o aspecto social seja integrado e discutido em relação à EC (MURRAY et al., 2017).

Quando aspectos sociais relacionados à EC discutidos na literatura, a referência é principalmente à criação de emprego, pois parece não haver uma compreensão clara da medida em que a EC poderia contribuir para o bem-estar do indivíduo (WEBSTER, 2017; MURRAY et al., 2017). Este enfoque mais limitado compreende uma cobertura restrita de bem-estar pela maioria dos autores da EC.

Webster (2017) trabalha na construção de uma dimensão social da EC, abordando as mudanças de estilos de vida através de uma economia compartilhada, fazendo referência a um dos modelos de negócios da EC, principalmente ao “compartilhamento” (*Share*). No entanto, a integração conceitual desta dimensão social à EC ainda não é clara (GEISSDOERFER et al., 2017).

A precariedade da natureza e a dependência dos recursos é a fragilidade da humanidade. As formas e os meios de resolver esta problemática pertencem às pessoas como um todo. Mas, para tornar isso possível e eficaz, faz-se necessário a compreensão de uma visão da humanidade não como pacientes cujos interesses devem ser cuidados, mas como agentes que podem fazer coisas eficazes tanto individualmente quanto em conjunto (SEN, 2013). Esta visão da humanidade é muito trabalhada no DH e tem sido muito debatida em conexão com a sustentabilidade (MARTINS, 2018). Portanto, paralelamente às questões de DH deve-se trabalhar modelos que promovam a sustentabilidade, sendo que um passo para isso seria a adoção de princípios e práticas da EC (MARTINS, 2013).

Enquanto a literatura sobre o EC está se expandindo, assim como questões de DH, a discussão sobre o alinhamento necessário entre EC e o “lado humano” deste modelo continua em fase embrionária (ESPOSITO et al., 2015; JABBOUR et al., 2019). Entretanto, os aspectos humanos e as escolhas dos indivíduos são elementos-chave de qualquer iniciativa da EC (HOPKINSON et al., 2018).

Como é possível observar nesta seção, a literatura traz evidências de que existem relações entre DH e EC, mas que não é possível identificá-las.

3. MÉTODO DE PESQUISA

O método proposto para este trabalho divide-se em quatro etapas.

Na Etapa 1, foi aplicado o método bola de neve, em que uma busca foi realizada para identificar autores que mencionavam indicadores macros da EC ou ações mensuráveis que representassem medidas dentro deste contexto.

Na Etapa 2, após o levantamento destes indicadores, todos eles embasados pela literatura, realizou-se uma busca nos bancos de dados no intuito de diagnosticar indicadores em relatórios de sustentabilidade que medissem as ações propostas pelos indicadores teóricos identificados na fase anterior.

Após encontrar indicadores existentes que mensuravam ações conforme alicerçou a literatura, na Etapa 3 foi desenvolvido o IEC. Entretanto, devido ao afunilamento da existência destes dados, foi necessário limitar a amostra, utilizando apenas os países da União Europeia.

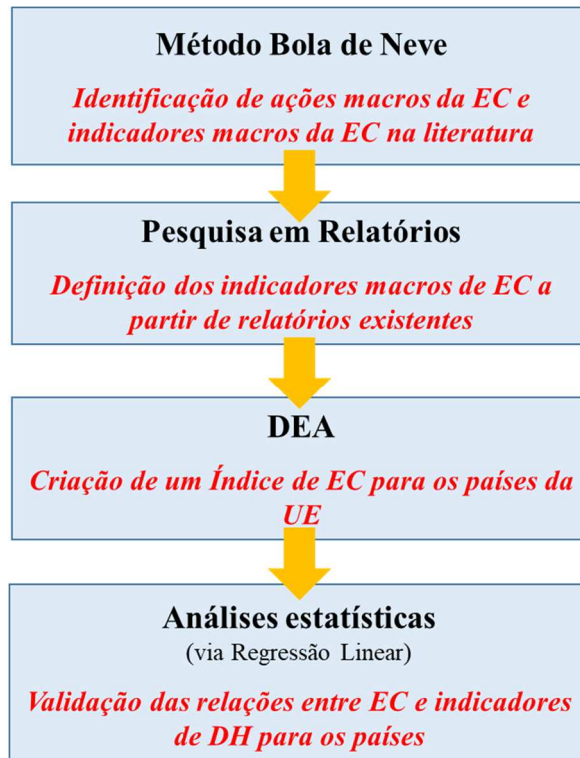
Por fim, na Etapa 4, foi realizada uma análise estatística com o objetivo de testar as relações entre o DH e o IEC. Ressalta-se que neste trabalho, o DH foi representado por três indicadores que estão presentes nos RDH da ONU, que são: (a) IDH (Índice de Desenvolvimento Humano); (b) IDHad (Índice de Desenvolvimento Humano ajustado a desigualdade); e o (c) IDevG (Índice de Desenvolvimento Humano por Gênero) (UNDP, 2018a).

A escolha dos índices do RDH foi pautada: (a) na disponibilidade e aceitação universal dos mesmos; na sua simplicidade (UNDP, 2018a); (b) no fato deles levarem em conta três dimensões (renda, saúde e educação), que mesmo não sendo completas, são quase que universalmente reconhecidas como as mais importantes; e (c) no fato de que eles se baseiam na ótica da TC de Amartya Sen.

Ressalta-se que a adoção de métodos distintos permite que os resultados encontrados na fase quantitativa possam ser analisados e interpretados pelos conhecimentos adquiridos na fase qualitativa, caminhando assim para resultados significativos e confiáveis, reduzindo a subjetividade inerente à pesquisa.

A Figura 5 ilustra os métodos que foram adotados na pesquisa e suas contribuições para o resultado esperado.

Figura 5: Contribuição dos métodos da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir, são apresentados os passos de cada etapa para a construção do trabalho.

3.1 Método Bola de Neve

A base de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS) foram escolhidas como fontes de pesquisa para o método bola de neve. Juntas, elas disponibilizam uma gama significativa de artigos e com qualidade aceitável pela academia. O *Scopus* aborda artigos com e sem *Journal Citation Reports* (JCR), fornecendo uma cobertura mais abrangente da literatura recente (HARZING; ALAKANGAS, 2016), indexando cerca de 70% mais fontes do que o *Web of Science* (BRZEZINSKI, 2015). Entretanto, a WoS apresenta em sua base apenas artigos com JCR, gerando credibilidade às fontes utilizadas na pesquisa.

Foi feita uma tentativa de busca nestas bases pelo método tradicional sobre EC. Entretanto, com a leitura dos resumos, foi possível diagnosticar que eles não se reportavam aos indicadores da abordagem macro da EC. Uma possível explicação para isso é o ineditismo do tema abordado. A partir de então, optou-se pelo desenvolvimento do método bola de neve (*snowball*) ao invés das buscas por palavras-chave nas bases de dados.

De acordo com Atkinson e Flint (2001) e Wohlin (2014), o método bola de neve é uma abordagem de pesquisa para estudos sistemáticos da literatura utilizando uma lista de referência de um artigo ou as citações do artigo para identificar novas fontes. Assim, é visto como um método de rastreamento de referências que busca aproveitar a expertise dos autores principais do tema para expandir as referências da pesquisa. Esse processo é baseado na suposição de que existe um vínculo entre a amostra inicial e outros na mesma população-alvo, permitindo que uma série de referências seja feita dentro de um círculo de conhecimento (ATKINSON; FLINT, 2001).

Assim, com base no artigo da Ghisellini et al. (2016), obtido através da varredura da literatura para a revisão bibliométrica, foi possível identificar outras publicações através de uma pesquisa estruturada, conforme orienta Spruijt et al. (2014).

Um dos autores deste artigo (GHISELLINI et. al., 2016), utilizado como ponto de partida para o método bola de neve, Sérgio Ulgiati, apresenta um *h-index* igual a 51. Patrizia Ghisellini, uma segunda autora, tem um *h-index* igual a 9; e outra autora, Catia Cialani, um *h-index* igual a 6. Além disso, este artigo apresenta um alto índice de citação (1186 citações) e foi publicado em um *journal* de referência na área, *Cleaner Production*. Estas referências do artigo garantem a qualidade do trabalho dos autores e viabiliza a continuidade do método a partir dele.

Além destas questões, o artigo de Ghisellini et al. (2016) foi o único artigo advindo da revisão da literatura primária desta pesquisa que abordou os 3 níveis da EC e apresentou ações circulares e métricas relacionadas à abordagem macro do modelo.

A exploração pela literatura baseada nas citações de outros autores foi finalizada quando os artigos selecionados voltavam a citar trabalhos já explorados, iniciando um ciclo repetitivo de busca.

Através desta pesquisa estruturada pelo método bola de neve, a autora elencou 56 indicadores relacionados às questões macros da EC, sendo que 4 deles eram repetidos por diferentes autores. Estes indicadores, muitas vezes, estavam relacionados à EC em uma abordagem macro de forma indireta, uma questão já discutida na literatura e definida como necessária (EASAC, 2016). Estes foram classificados por associação de temas/questões da EC. Assim, 10 grandes áreas abrangeram os 52 indicadores propostos pela literatura.

3.2 Busca em Banco de Dados

Diversos autores enfatizam a necessidade de indicadores relacionados à EC (ZHIJUN; NAILING, 2007). Como a EC se baseia em relações econômicas, ambientais e sociais harmonizadas, um sistema de índices para avaliação da mesma deve incorporar essas três dimensões (ZHIJUN; NAILING, 2007; GHISELLINI et al., 2016).

Portanto, o objetivo da busca em banco de dados é a identificação de relações concretas entre os indicadores ambientais presentes nos relatórios de sustentabilidade com os princípios da EC e as ações na abordagem macro, possibilitando assim relacionar os indicadores teóricos obtidos pelo método bola de neve em termos práticos quanto ao que existe correspondente.

A escolha destes relatórios foi baseada na universalidade dos mesmos e na aceitação deles em agendas internas de cada país. Todavia, essas agendas devem ser reconhecidas mundialmente, ainda que não adotadas por todas as nações. Outro critério é que esses relatórios tenham credibilidade mercadológica e/ou acadêmica em questões ambientais. Estes critérios de seleção dos relatórios não são excludentes. Basta que o relatório esteja incluído em uma destas premissas.

Definido os relatórios de sustentabilidade, a estratégia de análise dos indicadores ambientais foi pautada no conteúdo que eles mediam. As medições abrangem resultados que podem ser alcançados através das ações macros da EC. Assim, foi possível identificar e quantificar a existência de possíveis ações, que ainda que estejam imaturas, permitem que o país caminhe rumo à EC.

Os bancos de dados pesquisados que apresentavam indicadores convergentes com o objetivo desta pesquisa foram: (a) FAO (*Food and Agriculture Organization*); (b) OECD (*The Organisation for Economic Co-operation and Development*); (c) SDG (*Sustainable Development Goals*); (d) *World Bank*; (e) *Eurostat*; e (f) UNDP (*United Nations Development Programme*). Outros bancos também foram visitados por se encaixarem nos requisitos elucidados anteriormente, entretanto não apresentavam indicadores congruentes aos estabelecidos pela pesquisa estruturada no método bola de neve.

Como essa relação entre (1) indicadores macro da EC citados pela literatura, (2) indicadores existente em relatórios que mensuram as ações apontadas pelos (1) indicadores da literatura e (3) os bancos de dados classificados dentro dos requisitos estabelecidos, restringe a população que se enquadra nestes objetivos e alguns países

puderam ser analisados. Por este motivo, apenas países da União Europeia (UE) foram relacionados nesta pesquisa e o ano escolhido foi 2015, por ser o mais atual com métricas disponíveis para quase todos os países em questão.

3.3 Índice de Economia Circular

Após o levantamento, consolidação e classificação dos indicadores macros da EC, foi desenvolvido um IEC. Este indicadores foram divididos em *inputs* e *outputs*.

Nesta tese, o conceito de *inputs* e *outputs* não seguem a visão clássica destes termos na Análise Envoltória da Dados - DEA, uma vez que esses dados estão sendo utilizados para a construção de um índice de EC e não um índice de eficiência. Assim, em termos clássicos da DEA, todos os valores mencionados são apenas *outputs*, pois são resultados advindos da EC. Nenhum deles podem ser considerados como impulsionadores da EC, ou seja, um recurso que auxilie a implementação da mesma.

Entretanto, alguns desses resultados são indesejáveis. E, com a implementação da EC, espera-se que os mesmos sejam minimizados, ou seja, que este modelo de circularidade contribua na redução destes fatores. Assim, utilizar estes valores como *inputs* é uma maneira de se construir um índice de EC usando o DEA. Os resultados desejáveis, que devem ser maximizados, são considerados *outputs*. Assim, o IEC será a razão entre *outputs* e *inputs*. Quanto maior os *outputs*, melhor será este índice, e quanto maiores forem os *inputs* menor ele será.

Na DEA, quanto mais variáveis são utilizadas (*inputs* e *outputs*), menor é o poder de discriminação, ocasionando um grande número de empates entre unidades (países) com índice igual a 1. Ao rodar a *Data Envelopment Analysis* (Análise Envoltória de Dados - DEA), com auxílio do Software R, utilizando todos os indicadores encontrados, constatou-se que muitos países apresentaram índice igual a 1 devido ao grande número de variáveis em relação aos poucos países abrangidos.

Dessa forma, foi necessário primeiramente analisar quais indicadores (variáveis) deveriam ser eliminados para lapidação do resultado final. Para isso, foi realizado um teste de correlações para identificar quais indicadores eram redundantes.

Além disso, para melhorar ainda mais os resultados, as variáveis desta pesquisa foram reduzidas e combinadas por meio do método estatístico Análise de Componentes Principais (*Principial Component Analysis* – PCA).

3.3.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

Com o auxílio do programa *Statistical Package Social Science* (SPSS), a técnica de Análise de Componentes Principais (PCA) foi aplicada com o objetivo de reduzir o número de indicadores selecionados em fatores que permitissem a construção do IEC.

Para se utilizar o PCA, o primeiro passo foi a análise da matriz de correlação. Esta análise permite um entendimento prévio dos dados antes de partir para análises mais avançadas. A matriz permitiu identificar correlações fortes, fracas, positivas ou negativas entre os indicadores selecionados.

Posteriormente, os testes de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) e Bartlett foram realizados. A medida de adequação da amostra de KMO avalia o quão adequada foi a análise fatorial. Já o teste de esfericidade de Bartlett testa a hipótese de que as variáveis não sejam correlacionadas na população, ou seja, testa se a matriz de correlação da população é uma matriz identidade, na qual cada variável se correlaciona perfeitamente com ela própria e não apresenta correlação com as outras variáveis. Assim, os resultados obtidos para as duas medidas (Teste de esfericidade de Bartlett e Teste de KMO) indicam que a análise fatorial é adequada (FÁVERO et al., 2009).

O teste de KMO varia entre 0 e 1. Um valor de 0 indica que a soma de correlações parciais é grande relativamente à soma das correlações, indicando difusão no padrão das correlações, que poderia sugerir que a análise de fatores provavelmente é inadequada. Um valor próximo de 1 indica que padrões de correlações são relativamente compactos. Assim, a análise de fatores deve dar preferência a valores distintos e confiáveis. Kaiser (1974) recomenda valores maiores do que 0,5 como aceitáveis. Caso haja valores abaixo disso, é necessária a coleta de mais dados ou repensar quais variáveis incluir na análise. Ressalta-se que valores entre 0,5 e 0,7 são considerados medíocres; valores entre 0,7 e 0,8 são bons; entre 0,8 e 0,9 são ótimos e acima de 0,9 são excelentes (HAIR et al., 2009).

O teste de Bartlett examina se a matriz de correlações da população se parece com uma matriz identidade, ou seja, as medidas de Bartlett testam a hipótese nula de que a matriz de correlações original é uma matriz identidade. Portanto, o objetivo esperado nesta pesquisa é que o teste seja significativo com $p\text{-value} < 0,05$ (HAIR et al., 2009).

Em seguida, constrói-se a Matriz Anti Imagem que é a matriz das correlações parciais entre as variáveis após a análise de fatores. Ela indica o poder de explicação das dimensões em relação a cada variável analisada individualmente. Uma análise sobre a

diagonal da Correlação Anti Imagem demonstra a medida de adequação da amostra para cada uma das variáveis analisadas (MALHOTRA, 2011).

Foi realizado também o Teste de Comunalidades. O objetivo é analisar a coluna extração desta matriz para compreender o quanto a variância é comum ou compartilhada, ou seja, a porção da variância que uma variável compartilha com todas as outras variáveis consideradas, variando de forma semelhante.

Posteriormente, foi calculada a Variância Total Explicada. A partir do conjunto de indicadores selecionados, obteve-se o resultado de quanto um fator extraído explica a variância total da amostra (MALHOTRA, 2011). Assim, os indicadores disponíveis são agrupados em componentes que os representam e as análises e testes posteriores são baseadas nos componentes selecionados (1, 2 ou mais). A escolha da quantidade de componentes utilizados para a pesquisa está atrelada à porcentagem de dados dos indicadores que eles representam e aos bons resultados obtidos com a DEA numa próxima etapa.

Após estas análises, foi desenvolvida a Matriz de Componentes que é composta pelos coeficientes (cargas fatoriais) que expressam as variáveis padronizadas em termos dos fatores. Valores altos das cargas fatoriais, representam boa relação entre a variável e o fator. Essa matriz não rotada, apresenta dificuldades para ser interpretada pelo fato de que, em geral os fatores são correlacionados com muitas variáveis. Com o processo da rotação, a matriz de fatores resulta numa matriz mais simples, sendo que a rotação não afeta as comunalidades e a porcentagem da variância explicada. No entanto, a porcentagem da variância explicada por cada fator varia, sendo redistribuída por rotação (MALHOTRA, 2011).

Com a geração dos componentes e a criação dos coeficientes, foram gerados valores para os componentes de cada país a partir da equação de regressão resultante dos componentes principais com valores normalizados. Sendo assim, há a presença de alguns valores negativos que não são aceitos pela DEA. Para corrigi-los e utilizá-los na DEA, um valor foi somado a todos eles. Este valor foi o menor número inteiro que permitisse que todos os componentes apresentassem valores acima de zero. Vale ressaltar que a soma desta constante não altera os componentes principais tampouco a DEA, uma vez que foi utilizado um modelo invariável à translação, o *Range Adjusted Model* (RAM).

Todos estes testes e a criação dos componentes foram realizados separadamente para os *inputs* e, depois, para os *outputs*. A partir deles, com a aplicação da DEA, foi gerado o IEC.

3.3.2 Data Envelopment Analyses

A DEA foi criada em 1978 por Charnes, Cooper e Rhodes com o objetivo de avaliar a eficiência relativa de um conjunto de unidades tomadoras de decisão, que precisam possuir o mesmo conjunto de entradas e saídas para que haja a comparação. Dessa forma, a DEA, a partir de um modelo de programação linear, pode fornecer informações imediatas sobre a eficiência ou ineficiência dessas unidades. A DEA pode trabalhar com diferentes modelos; cada modelo DEA difere em relação ao tipo de retorno de escala e à orientação, e levará a eficiência a um valor diferente, que deverá ser interpretada de acordo com as premissas do modelo utilizado.

Ressalta-se que nesta pesquisa a utilização da DEA não foi para analisar a eficiência, mas sim para a criação de um índice composto de EC (o IEC). Por isso, a relação de *inputs* e *outputs* neste trabalho apresenta um significado diferente do da DEA tradicional. Neste trabalho, a DEA também irá minimizar as variáveis ruins (*inputs*) e maximizar as variáveis boas (*outputs*), mas em teoria, todas podem ser consideradas *outputs*.

O modelo DEA utilizado foi o RAM (*Range Adjusted Model*), um modelo não-radial que tem como uma de suas principais características o fato de ser invariável a translação, ou seja, somar ou subtrair um valor dos dados não vai alterar os resultados do modelo. Tal característica é interessante para eliminar variáveis negativas ou igual a zero, com as quais a DEA não lida muito bem (HEYDARI et al., 2020).

Sendo assim, dado que a Análise de Componentes Principais gera indicadores padronizados, que podem ser negativos ou positivos, o uso do RAM se tornou a melhor opção para agregar os indicadores. A partir dos valores gerados pela DEA para o IEC, outras análises foram realizadas com a aplicação do modelo RAM.

Inicialmente, a Contribuição Relativa. Esta análise permite identificar o quanto cada componente contribui para a geração do IEC do país em questão. Essa contribuição é feita separadamente para os componentes dos *inputs* e do *outputs*. Ressalta-se que o modelo atribui os pesos mais vantajosos aos componentes nos quais o país mais se destaca.

As expressões 1 a 6 representam o modelo RAM na forma dos multiplicadores. Esse modo de escrever o modelo possibilita, além do IEC, a determinação do invariável e da posterior contribuição relativa. Vale ressaltar que foi acrescentada uma restrição adicional de que a contribuição relativa de cada *input* e de *output* deveria ser de no mínimo

20% para evitar uma quantidade muito elevada de países com IEC igual a 1. A expressão 5 representa essa restrição a contribuição relativa dos *inputs* e a expressão 6 a contribuição relativa dos *outputs*. Sem essa restrição constatou-se que metade dos países analisados empatavam com IEC igual a 1. A contribuição relativa mostra percentualmente quanto cada *input* e *output* contribui para o índice construído.

$$Max IEC = 1 + \sum_{i=1}^n u_i \cdot y_{i0} - \sum_{j=1}^m v_j \cdot x_{j0} + w \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^m v_j \cdot x_{jk} + w \leq 0, \text{ para todo } k \quad (2)$$

$$v_j \geq \frac{1}{(m+n) \cdot R_j}, \text{ para todo } j \quad (3)$$

$$u_i \geq \frac{1}{(m+n) \cdot R_i}, \text{ para todo } i \quad (4)$$

$$\frac{v_j \cdot x_{j0}}{\sum_{j=1}^m v_j \cdot x_{j0}} \geq 0,2, \text{ para todo } j \quad (5)$$

$$\frac{u_i \cdot y_{i0}}{\sum_{i=1}^n u_i \cdot y_{i0}} \geq 0,2, \text{ para todo } i \quad (6)$$

Após esta análise, foi realizada a Análise de *Benchmarks* e de Folgas. Para isso, utilizou-se o modelo RAM na forma do envelope, que é uma forma alternativa de escrever esse modelo, equivalente a forma dos multiplicadores (as relações entre as duas formas são explicadas pela teoria da dualidade da programação linear). As expressões 8 a 12 representam esse modelo. Para facilitar o entendimento, não estão expressas as restrições aos pesos nessas equações (nessa forma o acréscimo de restrições aos pesos exige o acréscimo de variáveis auxiliares que foram omitidas).

$$MIN IEC = 1 - \frac{1}{m+n} \left(\sum_{j=1}^n \frac{S_j^-}{R_j^-} + \sum_{i=1}^m \frac{S_i^+}{R_i^+} \right) \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^z x_{jk} \cdot \lambda_k + S_j^- = x_{j0}, \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^z y_{ik} \cdot \lambda_k - S_i^+ = y_{i0}, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1 \quad (11)$$

$$\lambda_k, S_j^-, S_i^+ \geq 0, \text{ for } \forall k, j, i \quad (12)$$

A forma do envelope da DEA permite que se determinem os *benchmarks* e a meta dos países que não se encontram na fronteira. Os *benchmarks* são identificados a partir do valor de λ_k , que se for diferente de zero indica que o país “k” é um *benchmark* do país em análise. As metas para os países que não estão na fronteira podem ser determinadas a partir das folgas dos inputs (S_j^-) e dos outputs (S_i^+). Ao somar o valor de um *output* com sua folga e ao subtrair o valor da folga de um *input*, chega-se ao valor da meta para que o país possa adentrar a fronteira.

Ou seja, a Análise de *Benchmark* permite identificar quais países com IEC igual a 1, que estão na fronteira, incentivam outros países a se desenvolverem. Eles acabam sendo vistos como “guias” para o desenvolvimento de outros países rumo a EC, neste caso. Um país com IEC menor que 1 pode se espelhar em mais de uma país da fronteira (IEC=1) e, por isso, a Análise de *Benchmark* gera porcentagens para cada um deles.

Já a Análise de Folgas representa as metas que os países precisam alcançar. Ou seja, a aplicação desta análise permitirá compreender quanto cada país precisa melhorar em cada componente, lembrando que estes componentes representam um conjunto de indicadores que medem ações relacionadas à circularidade.

As notações utilizadas em todas as expressões do modelo RAM abordadas nesta seção se encontram resumidas no Quadro 1.

Quadro 1: Notações das expressões

NOTAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
O	Representa a DMU em análise
k	Número DMU - de 1 a z
i	Número de saída - de 1 a n
j	Número de entrada - de 1 a m
v_j	Peso da entrada j
u_i	Peso da saída i
y_{io}	Saída i da DMU em análise
x_{jo}	Entrada j da DMU em análise
y_{ik}	Saída i de DMU k
x_{jk}	Entrada j da DMU k
m	Número de saídas
n	Número de entradas
S_j^-	Folga da entrada j da DMU em análise
S_i^+	Folga da saída i da DMU em análise
R_j^-	Faixa da entrada j das DMUs na amostra
R_i^+	Intervalo da saída i das DMUs na amostra
λ_k	Nível de importância da DMU “ k ” para o alvo da DMU em análise;
k	Fator de escala

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Análise estatística

A pesquisa quantitativa foi responsável pela aquisição de evidências que poderão provar estatisticamente a relação entre as ações da EC e DH. Desta forma, foi realizado o levantamento dos indicadores presentes nos RDH da ONU, que são: IDH, IDHad e IDevG (UNDP, 2018a).

Com os indicadores selecionados, foram realizados dois métodos estatísticos: a correlação e a regressão linear. A escolha destas ferramentas foi devido a sua capacidade de verificar a existência de uma relação funcional entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes, (MONTGOMERY et al., 2012). Desta forma, a regressão linear apresenta uma variável X independente e uma Y dependente que determina uma relação de causa e efeito entre elas. No contexto desta pesquisa, estas variáveis são relativas os indicadores de DH e o IEC construído.

Portanto, primeiramente rodou-se uma matriz de correlação entre os indicadores de DH e os seus componentes com o IEC para identificar quais deles apresentam correlações significativas e, posteriormente, foi feita a regressão linear simples utilizando o Mínimo Quadrados Ordinários (MQO) para verificar como o IEC pode ser explicado pelos indicadores de DH que apresentaram tais correlações.

4. RESULTADOS

Os resultados desta tese são apresentados conforme a aplicação dos métodos. Primeiramente, por meio do método bola de neve são apresentados os indicadores macros da EC identificados na literatura. Em seguida, apresenta-se os resultados das buscas realizadas nos bancos de dados de indicadores que mensurem as ações teóricas que os autores propõem como uma abordagem macro da EC. Com essa convergência entre literatura e bancos de dados, foi possível desenvolver um IEC, apresentado no subcapítulo 4.3. Finalmente, com o IEC e os indicadores o RDH fez-se as correlações apresentadas na seção 4.4.

4.1 Resultados do Método Bolo de Neve

Por meio do método bola de neve, foi possível buscar na literatura indicadores considerados aptos a medir a abordagem macro da EC. Entretanto, a área de mensuração da abordagem macro da EC ainda é pouco explorada, tanto na literatura quanto na aplicação prática de tais avaliações.

O método então permitiu um aprofundamento do tema colocando em evidência os artigos que analisavam a questão de indicadores macros e as fontes utilizadas para o desenvolvimento daquele estudo. Por meio do efeito cascata do método bola de neve, foi possível relacionar autores que trabalharam com indicadores macros da EC. O artigo que iniciou esta busca por fontes que abordassem o tema almejado foi a publicação de Ghisellini et al. (2016).

Ao final desta busca, 56 indicadores foram relacionados. O Quadro 2 relaciona os autores e os indicadores citados por cada um deles.

Quadro 2: Indicadores teóricos para abordagem macro da EC

AUTORES	INDICADORES PROPOSTOS
ZHIJUN; NAILING, 2007	Relação terra-produto Taxa de redução anual do consumo de material Consumo de energia Consumo de água Descarga de resíduos Proporções de reutilização de produtos e energia Razão de tratamento de esgoto urbano Taxas de utilização de resíduos sólidos taxas de utilização de resíduos urbanos taxa de utilização de resíduos domésticos Indicadores de poluição do ar urbano Indicadores de saneamento para água potável Espaço verde per capita
NESS, 2008	Compartilhamento de carros Padrões de uso da terra mais eficientes Trânsito orientado para o desenvolvimento (investimento em tecnologias) Corredores de transporte multiuso
GENG et al., 2012	Saída de energia Consumo de energia por unidade de PIB Captação de água por unidade de PIB Coeficiente de utilização da água de irrigação Taxa de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas Taxa segura de tratamento de resíduos sólidos domésticos Taxa de reciclagem de sucata de ferro Taxa de reciclagem de metais não ferrosos Taxa de reciclagem de papel usado Taxa de reciclagem de plástico Taxa de reciclagem de borracha Quantidade total de emissão de CO ₂
BANAITÉ, 2016	Índice de Desenvolvimento da EC Regional Avaliação da EC regional Avaliação integrativa sobre o desenvolvimento da EC Análise de fluxo de material para avaliar a EC Desenvolvimento nas cidades Sistema de índices de EC da Proteção Ambiental do Estado Sistema de avaliação multiobjetivo da economia/meio ambiente/ecologia
TAWAR, 2017	Consumo de Materiais Consumo de energia Intensidade de emissões Resíduos Sólidos Municipais
ÁVILA-GUTIÉRREZ, 2019	Rede de atores Avaliação do ciclo de vida social
SAIDANI et al., 2019	Avaliação do desenvolvimento da EC nas cidades Índice de Desenvolvimento Regional da EC Sistema Nacional de Indicadores da EC

AUTORES	INDICADORES PROPOSTOS
SANGATA et al., 2020	Entradas renováveis disponíveis localmente Entradas não renováveis disponíveis localmente Insumos importados não renováveis Diminuição da contribuição da emergência de combustível Diminuição do consumo de eletricidade emergente Diminuição da emergência alimentar
SCHRÖDER et al., 2020	Circularidade do material Rentabilidade dos modelos de negócios da CE Empregos relacionados aos modelos de negócios da EC Qualidade e acessibilidade a bens e serviços entregues pela CE Despesas governamentais com políticas de EC

Fonte: Elaborado pela autora.

Depois de uma análise sobre a abrangência de cada um destes indicadores, eles foram classificados por grandes áreas, tendo em vista as abordagens da EC utilizadas. Muitos deles não se referiam diretamente à EC, como já foi mencionado por EASAC (2016). Por isso, alguns são de relatórios de cunho apenas ambiental, mas que acabam contribuindo para avaliar ações macros da EC.

Dez grandes áreas incorporaram os 52 indicadores (4 deles foram eliminados por serem repetidos), são elas: tecnologia/otimização, investimentos, insumos, energia, água, resíduos, reciclagem, compartilhamento, emissões e integração. O Quadro 3 ilustra a classificação mencionada.

Quadro 3: Classificação dos indicadores macros da EC em grandes áreas

ÁREAS	INDICADORES TEÓRICOS
Tecnologia/Otimização	1. Padrões de uso da terra mais eficientes 2. Investimento em tecnologias (Trânsito orientado para o desenvolvimento) 3. Corredores de transporte multiuso 4. Relação terra-produto
Investimentos	1. Despesas governamentais com políticas de EC 2. Rentabilidade dos modelos de negócios da CE
Insumos	1. Taxa de redução anual do consumo de material 2. Entradas renováveis disponíveis localmente 3. Entradas não renováveis disponíveis localmente 4. Insumos importados não renováveis 5. Circularidade do material
Energia	1. Consumo de energia 2. Diminuição da contribuição da emergência de combustível 3. Proporções de reutilização de produtos e energia 4. Diminuição do consumo de eletricidade emergente

ÁREAS	INDICADORES TEÓRICOS
Água	1. Consumo de água 2. Taxa de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas 3. Indicadores de saneamento para água potável 4. Captação de água por unidade de PIB 5. Coeficiente de utilização da água de irrigação
Resíduos	1. Razão de tratamento de esgoto urbano 2. Taxas de utilização de resíduos sólidos 3. Taxas de utilização de resíduos urbanos 4. Taxa de utilização de resíduos domésticos 5. Resíduos Sólidos Municipais 6. Descarga de resíduos 7. Taxa segura de tratamento de resíduos sólidos domésticos
Reciclagem	1. Taxa de reciclagem de sucata de ferro 2. Taxa de reciclagem de metais não ferrosos 3. Taxa de reciclagem de papel usado 4. Taxa de reciclagem de plástico 5. Taxa de reciclagem de borracha
Compartilhamento	1. Compartilhamento de carros
Emissões	1. Quantidade total de emissão de CO₂ 2. Intensidade de emissões 3. Indicadores de poluição do ar urbano
Integração	1. Qualidade e acessibilidade a bens e serviços entregues pela CE 2. Rede de atores 3. Avaliação do ciclo de vida social 4. Empregos relacionados aos modelos de negócios da EC 5. Avaliação do desenvolvimento da EC nas cidades 6. Índice de Desenvolvimento Regional da EC 7. Sistema Nacional de Indicadores da EC 8. Espaço verde per capita 9. Índice de Desenvolvimento da Economia Circular Regional 10. Avaliação da economia circular regional 11. Avaliação integrativa sobre o desenvolvimento da economia circular 12. Análise de fluxo de material para avaliar a EC 13. Desenvolvimento nas cidades 14. Sistema de índices de EC da Proteção Ambiental do Estado 15. Sistema de avaliação multiobjetivo da economia/meio ambiente/ecologia 16. Diminuição da emergência alimentar

Fonte: Elaborado pela autora.

A definição e nomeação das grandes áreas foram baseadas em duas questões. Primeiramente, pelo tema dessas áreas estarem relacionadas ao contexto da EC, por exemplo, resíduos, compartilhamento, emissões, entre outros. Depois, pelas ações que estes indicadores avaliam e mensuram.

A área “Tecnologia/Otimização” abrangeu os indicadores “Padrões de uso da terra mais eficiente”; “Investimento em tecnologias”; “Corredores de transporte multiuso” e

“Relação terra-produto”. Todos eles mensuram tecnologias ou ações de otimização em diferentes contextos que permitem e impulsionam uma aceleração para a transição à EC. O uso de terras mais eficientes, assim como relação terra-produto, permitem que o produto continue por mais tempo dentro do ciclo, prolongando sua vida útil e tornando-o um insumo em um novo ciclo. “Corredores de transporte multiuso” e “Investimentos em novas tecnologias” são mencionados como a utilização de tecnologias que permitem a transformação da energia cinética dos carros em energia elétrica, assim como a reutilização das águas pluviais que escorrem pelos corredores. Ou seja, trânsito orientado para o desenvolvimento.

A área de “Investimentos” aborda “Despesas governamentais com políticas de EC” e “Rentabilidade dos modelos de negócios da EC”. Países cujos governos depositam atenção e investimentos em ações que incentivam a prática e o desenvolvimento da EC demonstram uma capacidade de desenvolvimento de modelos de negócios circulares. Assim, a área “investimentos”, abrangendo os indicadores citados, permite evidenciar fontes de incentivo ao país que certamente propulsionarão a implementação e manutenção da EC em questões macros, e não apenas em organizações, por exemplo.

A grande área “Energia” faz menção a redução da utilização de energia por fontes não renováveis e uso total de energia por meio da utilização de 4 indicadores: “Consumo de energia”; “Diminuição da contribuição da emergência de combustível”; “Proporções de reutilização de produtos e energia” e “Diminuição do consumo de eletricidade emergente”. Modelos circulares potencializam o uso de energias obtidas por recursos renováveis, pelo reaproveitamento e, defendem a ideia do consumo consciente que culmina em uma redução no uso de energia.

“Água” é uma área que faz menção ao consumo de água, sua qualidade e como ela é reaproveitada após o consumo dentro do modelo. Para isso, indicadores como “Consumo de água”, “Taxa de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas”, “Indicadores de saneamento para água potável”, “Captação de água por unidade de PIB” e “Coeficiente de utilização da água de irrigação” foram selecionados para compor esta análise. O cuidado com o consumo e destinação final da água é um tema em potencial em qualquer área ambiental, assim como na EC. Preocupações com a redução do uso e a reutilização da mesma é uma maneira de estender sua participação no ciclo de vida e reduzir a necessidade de novos recursos.

A área “Resíduos” é basicamente formada por indicadores que medem a taxa de tratamento e reutilização dos resíduos. Sendo assim, por meio da análise da “Razão de

tratamento de esgoto urbano”, “Taxas de utilização de resíduos sólidos”, “Taxas de utilização de resíduos urbanos”, “Taxa de utilização de resíduos domésticos”, “Resíduos Sólidos Municipais”, “Descarga de resíduos” e “Taxa segura de tratamento de resíduos sólidos domésticos” é possível diagnosticar quais países apresentam medidas que garantem a reutilização dos recursos após o seu ciclo de vida. Com o percentual das taxas de reutilização, é possível compreender os níveis de redução da extração de novos insumos e projetar tempos maiores de utilização de cada produto.

Indicadores como “Taxa de reciclagem de sucata de ferro”, “Taxa de reciclagem de metais não ferrosos”, “Taxa de reciclagem de papel usado”, “Taxa de reciclagem de plástico” e “Taxa de reciclagem de borracha” foram indicados como métricas referentes à Reciclagem. Tais indicadores recaem a atenção sobre recursos não renováveis, que apresentam aspectos mais negativos ao meio ambiente e à sociedade.

Compartilhamento é uma área valorizada dentro da EC. A ideia da função do produto é substituída pela necessidade da “posse”. Entretanto, o único indicador encontrado foi “Compartilhamento de carros”. A escassez de métricas relacionadas a esta área traduz uma questão nova a ser absorvida pela sociedade. Tal mudança abrange mais do que apenas uma ação, estendendo-se por heranças culturais.

Emissões é um fator mensurado por quase todos os países. Dentro desta grande área, a literatura aponta métricas como a “Quantidade total de emissão de CO₂”, “Intensidade de emissões” e “Indicadores de poluição do ar urbano”. Todos estes indicadores trabalham com total de emissões per capita, uma vez que países mais populosos tendem a ter maiores emissões, assim como países mais desenvolvidos, ainda que desempenhem ações de redução e tratamento de emissões.

Por fim, a área Integração objetiva identificar indicadores que mensurem questões da EC com demais áreas, principalmente de cunho social, uma vez que este trabalho aborda indicadores macros da EC. Assim, foi possível identificar as seguintes métricas: “Qualidade e acessibilidade a bens e serviços entregues pela CE”, “Rede de atores”, “Avaliação do ciclo de vida social”, “Empregos relacionados aos modelos de negócios da EC”, “Avaliação do desenvolvimento da EC nas cidades”, “Índice de Desenvolvimento Regional da EC”, “Sistema Nacional de Indicadores da EC”, “Espaço verde per capita”, “Índice de Desenvolvimento da Economia Circular Regional”, “Avaliação da economia circular regional”, “Avaliação integrativa sobre o desenvolvimento da economia circular”, “Análise de fluxo de material para avaliar a EC”, “Desenvolvimento nas cidades”, “Sistema de índices de EC da Proteção Ambiental do Estado”, “Sistema de

avaliação multiobjetivo da economia/meio ambiente/ecologia”, “Diminuição da emergência alimentar”. Entre as questões macros abordadas, é possível reconhecer atores envolvidos no processo para a implementação da EC, empregos gerados e mantidos pela EC, o desenvolvimentos das cidades e regiões, a educação e a emergência alimentar.

4.2 Resultados da Busca em Bancos de Dados

Após a identificação dos indicadores macros sugeridos na literatura, foi necessário encontrar relatórios que onde se pudesse identificar dados relativos a tais métricas. Assim, explorando os relatórios da OECD, PNUD, SDG, FAO, Eurostat e World Bank algumas métricas compartilhavam das mesmas questões dos indicadores teóricos ou de questões similares e que permitiam a leitura necessária.

Dos 52 indicadores identificados na literatura, apenas 13 deles foram mantidos por apresentarem métricas já existentes em relatórios que os representassem. Com isso, devido à ausência de métricas pré-existentes e gerenciadas pelos países, duas grandes áreas não foram incorporadas no IEC proposto neste trabalho: Compartilhamento e Integração.

Entretanto, mais de uma métrica pôde ser estipulada para alguns dos indicadores propostos pela literatura, como para “Resíduos Sólidos Municipais” que apresentou 3 métricas que o representasse. Assim, ao final desta busca em relatórios, apresentava-se um número de 26 indicadores no total. Estas ocorrências também são observadas no Quadro 4.

Quadro 4: Indicadores teóricos e Indicadores existentes em relatórios

ÁREAS	INDICADORES TEÓRICOS	INDICADORES EXISTENTES	FONTE
Tecnologia/ Otimização	1. Padrões de uso da terra mais eficientes	1.1 Cultivo de solos orgânicos	FAO
	2. Investimentos em Tecnologias	2.1 Desenvolvimento de tecnologia ambiental	OECD
Investimentos	1. Despesas governamentais com políticas de EC	1.1 Número de países com planos de ação nacionais de consumo	SDG
		1.2 Número de países implementando políticas sustentáveis de compras públicas e planos de ação	SDG
		1.3 Educação para o desenvolvimento sustentável	SDG
		1.4 Despesas e receitas relacionadas à proteção ambiental	SDG
Insumos	1. Entradas renováveis disponíveis localmente	1.1 Recursos renováveis de água doce internos per capita (metros cúbicos)	Word Bank
		1.2 Produtividade de recursos e consumo de material doméstico	Eurostat
	2. Circularidade do material	2.1 Taxa de uso de material circular	Eurostat
Energia	1. Consumo de energia	1.1 Consumo de energia renovável	PNUD
		1.2 Participação da energia renovável no consumo total de energia final (%)	SDG
	2. Proporções de reutilização de produtos e energia	2.1 Produção de eletricidade renovável (% da produção total de eletricidade)	Word Bank
		2.2 capacidade instalada de geração de energia renovável em países em desenvolvimento	SDG
Água	1. Taxa de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas	1.1 Geração e descarga de águas residuais	OECD
		1.2 Proporção de fluxos de águas residuais domésticas e industriais tratados com segurança	SDG
		1.3 Capacidade de tratamento de estações de águas residuais	OECD
Resíduos	1. Resíduos sólidos Municipais	1.1 Resíduos municipais gerados, kg per capita	OECD
		1.2 Resíduos de colheita	FAO
		1.3 Resíduos de alimentos	OECD
	2. Descarga de resíduos	2.1 Resíduos perigosos gerados (per capita)	SDG
		2.2 Geração de resíduos por setor	SDG

ÁREAS	INDICADORES TEÓRICOS	INDICADORES EXISTENTES	FONTE
Reciclagem	1. Taxa de Reciclagem	1.1 Resíduos municipais reciclados ou compostados (% resíduos tratados)	OECD
		1.2 Taxa nacional de reciclagem (toneladas de material reciclado)	SDG
		1.3 Comércio de matérias-primas recicláveis	Eurostat
Emissões	1. Quantidade total de emissão de CO2	1.1 Emissões de CO2 (toneladas métricas per capita)	Word Bank
	2. Intensidade de Emissões / Indicadores de poluição do ar urbano	2.1 Emissões totais de gases de efeito estufa por ano	SDG

Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, houve outro afunilamento. Foram selecionados apenas os indicadores que tinham um número significativo de países que os gerenciavam e publicavam nos relatórios. E, apenas os países da UE mensuravam ações que convergiam para a abordagem macro da EC e apresentavam estes indicadores em relatórios internacionais. Os demais países oscilam entre um ou outro indicador, não contribuindo assim para a formação da população necessária para o desenvolvimento do IEC. Assim, esse refinamento reduziu os 26 indicadores encontrados para 12. São eles: Desenvolvimento de tecnologia ambiental; Consumo de energia renovável; Produtividade de recursos e consumo de material doméstico; Taxa de uso de material circular; Participação da energia renovável no consumo total de energia final; Produção de eletricidade renovável; Resíduos municipais gerados; Resíduos perigosos gerados; Resíduos municipais reciclados ou compostados; Comércio de matérias-primas recicláveis; Emissões de CO₂; e Emissões totais de gases de efeito estufa.

Desenvolvimento de tecnologia ambiental (TEC1) refere-se ao uso de meios tecnológicos que tragam efeitos positivos sobre as questões do meio ambiente, como a redução de externalidades negativas; Consumo de energia renovável (INS1) refere-se a utilização de insumos renováveis para a geração de energia; Produtividade de recursos e consumo de material doméstico (INS2) está relacionado a taxa de produtividade de cada recurso e também da quantidade do consumo destes no âmbito doméstico (Euro/Kg); Taxa de uso de material circular (INS3) faz referência a porcentagem total do uso de insumo que já estão ingressos esquema cascata da EC e não são mais fontes primárias; Participação da energia renovável no consumo total de energia final (ENE1) refere-se à porcentagem de utilização de energia advindas de fontes renováveis; Produção de eletricidade renovável (ENE2) menciona quantos por centos da produção total de eletricidade são de fontes renováveis; Resíduos municipais gerados (RES1) mensura a quantidade de resíduos produzido por pessoa nas cidades, assim como os Resíduos perigosos gerados (RES2), entretanto esta métrica refere-se apenas à resíduos perigosos e tóxicos; Resíduos municipais reciclados ou compostados (REC1) faz referência à porcentagem de resíduos que são tratados tendo em vista a geração total de resíduos pelo país; Comércio de matérias-primas recicláveis (REC2) aborda a quantidade em toneladas de resíduos que são reciclados e comercializados como fonte de matéria-prima; Emissões de CO₂ (EMI1) avalia o volume de gás carbônico per capita que o país libera no meio ambiente; e, por fim, Emissões totais de gases de efeito estufa (EMI2) que é equivalente a quilo tonelada de CO₂ emitidos por ano pelos países.

Outro filtro necessário foi o ano base utilizado para a coleta dos dados. A prioridade para a escolha seguiu dois critérios: atualidade e dados disponíveis. Assim, o ano mais atual com maior número de indicadores disponíveis foi o ano de 2015. Para os países que gerenciavam estes indicadores mas não registraram valores em 2015, optou-se por considerar o ano mais próximo do determinado. Em um dos casos, utilizou-se dados de 2014 e em outro de 2012.

A Tabela 1 apresenta os indicadores classificados nas grandes áreas, os países da UE que fornecem as métricas necessárias e o ano selecionado para a análise. Países que não monitoravam algumas métricas, como Grécia, Irlanda, Países Baixos e República Tcheca, foram retirados para não comprometerem as análises.

Tabela 1: Indicadores macros da EC dos países da UE do ano de 2015

PAÍSES	TECNOLOGIA/ OTIMIZAÇÃO	INSUMO			ENERGIA		RESÍDUOS		RECICLAGEM		EMISSIONES	
	TEC1 (2015)	INS1 (2015)	INS2 (2015)	INS3 (2015)	ENE1 (2015)	ENE2 (2015)	RES1 (2015)	RES2 (2016)	REC1 (2015)	REC2 (2015)	EMI1 (2014)	EMI2 (2012)
ALEMANHA	30357,23	14,21	2,21	11,40	29,23	14,21	51625,00	280,30	66,74	1621160	8,89	951716,71
ÁUSTRIA	2701,83	34,39	1,99	10,90	76,49	34,39	4836,00	144,15	58,20	224773	6,87	90460,21
BÉLGICA	2001,50	9,20	2,66	18,30	20,80	9,20	4642,62	335,81	53,49	289514	8,33	133373,68
DINAMARCA	1719,77	33,17	2,02	8,40	65,51	33,17	4440,00	352,06	1,15	116317	5,94	53703,22
ESLOVÁQUIA	120,58	13,41	1,14	5,00	22,68	13,41	1784,18	91,17	14,97	9035	5,66	46301,27
ESLOVÊNIA	310,82	15,56	0,88	5,80	10,58	15,56	3712,00	46,87	32,18	41252	4,27	62988,40
ESPANHA	2125,57	16,25	2,61	7,50	34,95	16,25	21157,80	68,27	29,98	2319942	5,03	348257,29
ESTÔNIA	51,50	27,48	0,51	11,40	14,42	27,48	472,55	7354,43	30,85	4143	14,85	23292,78
FINLÂNDIA	1488,55	43,24	1,13	6,50	44,50	43,24	2738,28	434,45	40,59	17436	8,66	69072,94
FRANÇA	11955,71	13,50	2,84	18,70	15,86	13,50	34344,00	170,26	40,75	643516	4,57	499146,63
GRÉCIA	169,83	17,17	1,40	2,00	28,66	17,17	5277,00		15,79	222002	6,18	100571,17
HUNGRIA	117,20	9,03	3,42	9,60	32,38	9,03	345,95	737,90	47,50	23510	17,36	12611,00
IRLANDA	691,52	9,08	2,42	1,90	27,97	9,08		113,72	„	40152	7,31	62433,01
ITÁLIA	5821,24	16,52	3,22	16,60	38,68	16,52	29524,00	160,01	48,05	683936	5,27	482634,00
LETÔNIA	24,33	38,10	0,83	5,40	50,17	38,10	798,06	33,55	31,01	29236	3,50	13943,92
LITUÂNIA	33,51	28,96	0,77	4,10	39,41	28,96	1300,00	60,89	33,58	35198	4,38	29442,21
LUXEMBURGO	156,25	20,88	1,35	8,40	29,39	20,88	925,94	59,60	57,66	110289	6,21	21074,75
PAÍSES BAIXOS	4640,61	5,89	3,55	25,80	12,44	5,89	8866,00	302,34	51,77	1049921		195873,76
POLÔNIA	826,41	11,91	0,65	11,60	13,80	11,91	10863,00	50,47	32,48	235977	7,52	414606,89
PORTUGAL	309,64	27,16	1,10	2,10	47,53	27,16	4768,81	80,83	31,04	653672	4,33	72524,22
REPÚBLICA TC	496,42	14,83		6,90	11,40	14,83	3337,34	102,53	29,73	3330	9,17	138957,42
SUÉCIA	2914,14	53,25	1,85	6,80	63,26	53,25	4421,57	241,89	47,55	674338	4,48	65767,79

Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Resultados da criação do Índice de Economia Circular

No intuito de criar um índice de EC com o uso da técnica DEA, algumas etapas precedentes foram necessárias. Os próximos subcapítulos retratarão cada uma delas.

4.3.1 Resultados da Identificação de Inputs e Outputs

Primeiramente, foi realizada a classificação de *inputs* e *outputs* dos indicadores identificados. Assim, 5 deles foram categorizados como *inputs* (devem ser reduzidos) e 7 como *outputs* (devem ser aumentados).

O Quadro 5 apresenta a classificação que agrega os indicadores Produtividade de recursos e consumo de material doméstico, Resíduos municipais gerados, Resíduos perigosos gerados, Emissões totais de gases de efeito estufa, e Emissões de CO₂ como *inputs*; e Desenvolvimento de tecnologia ambiental, Participação da energia renovável no consumo total de energia final, Produção de eletricidade renovável, Taxa de uso de material circular, Consumo de energia renovável, Resíduos municipais reciclados ou compostados e Comércio de matérias-primas recicláveis como *outputs*.

Quadro 5: Classificação dos indicadores em *inputs* e *outputs*

INPUTS / SIGLAS		OUTPUTS / SIGLAS	
Produtividade de recursos e consumo de material doméstico	INS2	Desenvolvimento de tecnologia ambiental	TEC1
Resíduos municipais gerados	RES1	Participação da energia renovável no consumo total de energia final	ENE1
Resíduos perigosos gerados	RES2	Produção de eletricidade renovável	ENE2
Emissões totais de gases de efeito estufa	EMI2	Taxa de uso de material circular	INS3
Emissões de CO ₂	EMI1	Resíduos municipais reciclados ou compostados	REC1
		Comércio de matérias-primas recicláveis	REC2

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 2 apresenta esta classificação dos indicadores em *inputs* e *outputs* devidamente preenchida com os dados referente às métricas dos países da UE. As fontes destes dados, apresentadas na Tabela 1, são dos relatórios internacionais.

Tabela 2: Indicadores macros da EC dos países da UE classificados em inputs/outputs

PAÍSES	INPUTS					OUTPUTS						
	INS2	RES1	RES2	EMI2	EMI1	TEC1	ENE1	ENE2	INS3	INS1	REC1	REC2
ALEMANHA	2,21	51625,00	280,30	951716,71	8,89	30357,23	29,23	14,21	11,40	14,21	66,74	1621160,00
ÁUSTRIA	1,99	4836,00	144,15	90460,21	6,87	2701,83	76,49	34,39	10,90	34,35	58,20	224773,00
BÉLGICA	2,66	4642,62	335,81	133373,68	8,33	2001,50	20,80	9,20	18,30	9,31	53,49	289514,00
DINAMARCA	2,02	4440,00	352,06	53703,22	5,94	1719,77	65,51	33,17	8,40	33,54	1,15	116317,00
ESLOVÁQUIA	1,14	1784,18	91,17	46301,27	5,66	120,58	22,68	13,41	5,00	13,41	14,97	9035,00
ESLOVÊNIA	1,35	925,94	59,60	21074,75	6,21	156,25	29,39	20,88	8,40	20,81	57,66	110289,00
ESPANHA	2,61	21157,80	68,27	348257,29	5,03	2125,57	34,95	16,25	7,50	16,27	29,98	2319942,00
ESTÔNIA	0,51	472,55	7354,43	23292,78	14,85	51,50	14,42	27,48	11,40	27,54	30,85	4143,00
FINLÂNDIA	1,13	2738,28	434,45	69072,94	8,66	1488,55	44,50	43,24	6,50	43,23	40,59	17436,00
FRANÇA	2,84	34344,00	170,26	499146,63	4,57	11955,71	15,86	13,50	18,70	13,66	40,75	643516,00
HUNGRIA	0,88	3712,00	46,87	62988,40	4,27	310,82	10,58	15,56	5,80	15,52	32,18	41252,00
ITÁLIA	3,23	29524,00	160,01	482634,00	5,27	5821,24	38,68	16,52	16,60	16,57	48,05	683936,00
LETÔNIA	0,83	798,06	33,55	13943,92	3,50	24,33	50,17	38,10	5,40	38,10	31,01	29236,00
LITUÂNIA	0,77	1300,00	60,89	29442,21	4,38	33,51	39,41	28,96	4,10	28,96	33,58	35198,00
LUXEMBURGO	3,42	345,95	737,90	12611,00	17,36	117,20	32,38	9,03	9,60	9,09	47,50	23510,00
POLÔNIA	0,65	10863,00	50,47	414606,89	7,52	826,41	13,80	11,91	11,60	11,87	32,48	235977,00
PORTUGAL	1,10	4768,81	80,83	72524,22	4,33	309,64	47,53	27,16	2,10	27,21	31,04	653672,00
SUÉCIA	1,84	4421,57	241,89	65767,79	4,48	2914,14	63,26	53,25	6,80	53,10	47,55	674338,00

Fonte: Elaborada pela autora

4.3.2 Resultados da Análise preliminar

Com os indicadores separados em *inputs* e *outputs* e devidamente selecionados, rodou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA) com auxílio do *Software R*. Nos resultados iniciais, ao analisar a Fronteira Padrão, é possível identificar inúmeros empates com diversos países com índice igual a 1. Apenas a Eslováquia e a Hungria apresentaram um valor menor que 1, o que ainda indica que são países com EC ruim.

Isso ocorre devido à relação entre variáveis (indicadores) *versus* países. Ou seja, a abundância de índices igual a 1 indica que há uma desproporcionalidade entre as variáveis e os países analisados. Neste caso, é possível identificar que há muitos indicadores para poucos países. Nesta análise todos os indicadores foram utilizados, sem a combinação das variáveis e a criação de componentes que as representem.

Desta forma, os resultados desta primeira rodada da DEA pelo *Software R*, aplicando o modelo RAM sem restrição aos pesos e com as 12 variáveis selecionadas, não foram satisfatórios. A Tabela 3 ilustra os resultados mencionados.

Tabela 3: Resultados da análise DEA

PAÍSES	Fronteira Padrão
ÁUSTRIA	1
ALEMANHA	1
BÉLGICA	1
DINAMARCA	1
ESLOVÁQUIA	0,6305758
ESLOVÊNIA	1
ESPANHA	1
ESTÔNIA	1
FINLÂNDIA	1
FRANÇA	1
HUNGRIA	0,9144435
ITÁLIA	1
LETÔNIA	1
LITUÂNIA	1
LUXEMBURGO	1
POLÔNIA	1
PORTUGAL	1
SUÉCIA	1

Fonte: Elaborada pela autora

Para depurar estes resultados, e chegar a um IEC que seja útil, é necessário reduzir o número de variáveis. Por isso surgiu a necessidade da aplicação da Análise dos Componentes Principais.

4.3.3 Resultados da Matriz de correlação e exclusão de redundâncias

Primeiramente, para diminuir as variáveis e eliminar os empates, foi realizada uma análise relacionada a quais variáveis poderiam ser eliminadas para aprimorar os resultados finais da pesquisa. Assim, a matriz de correlação foi realizada para identificar possíveis variáveis muito correlacionadas e, portanto, consideradas redundantes.

Portanto, com os indicadores devidamente classificados em *inputs* e *outputs* e os dados referentes às métricas de cada um deles preenchidos, rodou-se no Excel uma matriz de correlação. Esta matriz apresenta correlações importantes relacionadas à redundância entre os indicadores e a proporcionalidade (direta ou indireta) entre eles. O Tabela 4 apresenta estas correlações.

Tabela 4: Matriz de correlação entre os indicadores macros de EC

		INPUTS					OUTPUTS						
População		INS2	RES1	RES2	EMI2	EMI1	TEC1	ENE1	ENE2	INS3	INS1	REC1	REC2
População	1												
INS2	0,48	1,00											
RES1	0,97	0,48	1,00										
RES2	-0,21	-0,27	-0,17	1,00									
EMI2	0,96	0,38	0,97	-0,17	1,00								
EMI1	-0,16	0,20	-0,11	0,60	-0,06	1,00							
TEC1	0,80	0,34	0,90	-0,11	0,88	0,02	1,00						
ENE1	-0,19	0,11	-0,19	-0,27	-0,26	-0,24	-0,10	1,00					
ENE2	-0,39	-0,36	-0,36	0,07	-0,41	-0,25	-0,22	0,73	1,00				
INS3	0,56	0,60	0,50	0,13	0,50	0,23	0,37	-0,31	-0,45	1,00			
INS1	-0,39	-0,36	-0,36	0,07	-0,41	-0,25	-0,22	0,73	1,00	-0,45	1,00		
REC1	0,37	0,36	0,37	-0,10	0,39	0,21	0,48	-0,01	-0,10	0,41	-0,11	1,00	
REC2	0,70	0,42	0,70	-0,18	0,67	-0,19	0,55	0,01	-0,19	0,12	-0,19	0,22	1,00

Fonte: Elaborada pela autora.

A Matriz de Correlação permitiu identificar indicadores que mensuravam métricas semelhantes. Logo, os indicadores “Emissões Totais de gases de efeito estufa” (EMI2) e “Produção de eletricidade renovável” (ENE2) foram retirados das análises. Cabe lembrar que eles foram retirados, mas os dados que eles abordavam já eram contemplados nos demais indicadores que permaneceram.

Diante do exposto, a Tabela 5 foi criada mantendo os indicadores selecionados pela Matriz de correlação e os dados referentes a eles no período já estipulado e explanado (2015).

Tabela 5: Indicadores macros da EC após análise da matriz de correlação

PAÍSES	INPUTS				OUTPUTS					
	INS1	RES1	RES2	EMI1	TEC1	ENE1	INS3	INS1	REC1	REC2
ALEMANHA	2,21	51625,00	280,30	8,89	30357,23	29,23	11,40	14,21	66,74	1621160
ÁUSTRIA	1,99	4836,00	144,15	6,87	2701,83	76,49	10,90	34,35	58,20	224773
BÉLGICA	2,66	4642,62	335,81	8,33	2001,50	20,80	18,30	9,31	53,49	289514
DINAMARCA	2,02	4440,00	352,06	5,94	1719,77	65,51	8,40	33,54	1,15	116317
ESLOVÁQUIA	1,14	1784,18	91,17	5,66	120,58	22,68	5,00	13,41	14,97	9035
ESLOVÊNIA	1,35	925,94	59,60	6,21	156,25	29,39	8,40	20,81	57,66	110289
ESPANHA	2,61	21157,80	68,27	5,03	2125,57	34,95	7,50	16,27	29,98	2319942
ESTÔNIA	0,51	472,55	7354,43	14,85	51,50	14,42	11,40	27,54	30,85	4143
FINLÂNDIA	1,13	2738,28	434,45	8,66	1488,55	44,50	6,50	43,23	40,59	17436
FRANÇA	2,84	34344,00	170,26	4,57	11955,71	15,86	18,70	13,66	40,75	643516
HUNGRIA	0,88	3712,00	46,87	4,27	310,82	10,58	5,80	15,52	32,18	41252
ITÁLIA	3,23	29524,00	160,01	5,27	5821,24	38,68	16,60	16,57	48,05	683936
LETÔNIA	0,83	798,06	33,55	3,50	24,33	50,17	5,40	38,10	31,01	29236
LITUÂNIA	0,77	1300,00	60,89	4,38	33,51	39,41	4,10	28,96	33,58	35198
LUXEMBURGO	3,42	345,95	737,90	17,36	117,20	32,38	9,60	9,09	47,50	23510
POLÔNIA	0,65	10863,00	50,47	7,52	826,41	13,80	11,60	11,87	32,48	235977
PORTUGAL	1,10	4768,81	80,83	4,33	309,64	47,53	2,10	27,21	31,04	653672
SUÉCIA	1,84	4421,57	241,89	4,48	2914,14	63,26	6,80	53,10	47,55	674338

Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.4 Resultados da Análise de Componentes Principais

Posteriormente, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais, uma técnica de análise multivariada utilizada para analisar as inter-relações existentes entre um número significativo de variáveis e explicar essas variáveis em termos de suas dimensões inerentes, chamadas de Componentes (MALHOTRA, 2011). A escolha desta técnica está atrelada a necessidade de analisar a informação contida em várias variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (componentes) com uma perda mínima de informação. Utilizou-se para isto o programa SPSS.

Com os resultados extraídos pela Análise de componentes principais, foi identificado quais componentes (fatores) foram formados a partir dos dados ilustrados pela Tabela 7. A forma utilizada para formar estes componentes a partir dos dados fornecidos foi o método (chamado pelo SPSS de “escore”) de Regressão. Em seguida, o programa realizou a rotação por *oblimax* direto no intuito de melhorar o ajuste dos fatores, pois trata-se do pressuposto que os componentes/fatores criados possuem determinada relação. Assim, a rotação dos dados permite que haja uma análise de componentes principais melhorada, tendo em vista a primeira versão fornecida pela planilha em questão.

Estas análises foram trabalhadas separadamente. Primeiramente os dados classificados como *inputs* e, posteriormente, os *outputs*. Assim, foram apresentadas na mesma sequência.

4.3.4.1 Resultados da Análise de Componentes Principais dos *inputs*

O programa SPSS calcula o valor de cada componente para cada país. Para isso, utilizando os valores dos indicadores dos *inputs*, o programa cria coeficientes para que cada indicador possa ser representado, em conjunto com outros, por um Componente.

Primeiramente, foram realizados dois testes: KMO e Bartlett no intuito de aferir, através de correlações, se o número de dados e variáveis é suficiente. A Tabela 6 apresenta os valores de ambos os testes.

Tabela 6: Valores dos testes de KMO e Bartlett

TESTE KMO e BARTLETT		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de Adequação da Amostragem		0,343
Teste de esfericidade de Bartlett	Aprox Qui-quadrado	16,714
	df	6
	Significância	0,010

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

O teste de KMO apresentou um resultado de 0,343, valor que traduz a necessidade de inclusão de mais dados, ou seja, mais países que façam parte desta amostra. Entretanto, o ineditismo da busca por indicadores macros da EC, a necessidade de adaptação de indicadores já existentes que mensurem fatores que se encaixem nas análises macros da EC, assim como o número restrito de países que gerenciem estes dados, justificam a aceitação e continuidade deste método ainda frente esta divergência. Além disso, estas pontuações são recomendações dos autores quanto às questões estatísticas para obtenção de resultados mais assertivos e não inviabilizam os resultados divergentes.

Quanto ao teste de Bartlett, seu valor de 0,010 condiz com as especificações citadas por Hair et al. (2009) e permite o andamento do método.

Outro teste realizado foi a Matriz de anti-imagem. O objetivo é analisar a diagonal da matriz, identificada com “a”. Nesta diagonal, os valores devem estar acima de 0,5. A Tabela 7 ilustra os valores desta análise.

Tabela 7: Matrizes anti-imagem

MATRIZ ANTI-IMAGEM					
MATRIZ ANTI-IMAGEM		INS2	RES1	RES2	EMI1
CORRELAÇÃO ANTI-IMAGEM	INS2	,294 ^a	-0,526	0,507	-0,535
	RES1	-0,526	,409 ^a	-0,174	0,293
	RES2	0,507	-0,174	,372 ^a	-0,705
	EMI1	-0,535	0,293	-0,705	,323 ^a

a. Medidas de adequação da amostragem (MSA)

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Da mesma forma que o teste KMO, os valores da Análise Anti-Imagem não são recomendados pela literatura, porém a singularidade da pesquisa e os dados disponíveis para a mesma permite que a análise seja aceita e haja continuidade na aplicação do método.

No teste de Comunalidade, a coluna Extração reflete o quanto a variância é comum ou compartilhada. Valores acima de 0,4 são considerados bons (HAIR et al., 2009). Desta forma, conforme apresentado na Tabela 8, os valores 0,947; 0,985; 0,934 e 0,927 se enquadram dentro das orientações, confirmando a utilização correta dos dados em questão.

Tabela 8: Comunalidades

COMUNALIDADES		
	INICIAL	EXTRAÇÃO
INS2	1,000	0,817
RES1	1,000	0,661
RES2	1,000	0,803
EMI1	1,000	0,878

Método de Extração: Análise de

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Foi realizada também a Variância Total Explicada. Este teste permite a elaboração dos componentes. Cada componente explica a variância da amostra e também o valor acumulativo dos componentes. Pela Tabela 9, é possível verificar que o programa SPSS criou a partir dos dados de *inputs* 4 componentes. Entretanto, geralmente os primeiros são os mais importantes já que explicam a maior parte da variação total, sendo os componentes com maior representatividade na porcentagem de variância

(MALHOTRA, 2011). Assim, o programa selecionou 2 deles para a amostra de indicadores dos *inputs* que representam aproximadamente 79% dos dados oferecidos pelos indicadores.

Tabela 9: Variância Total explicada

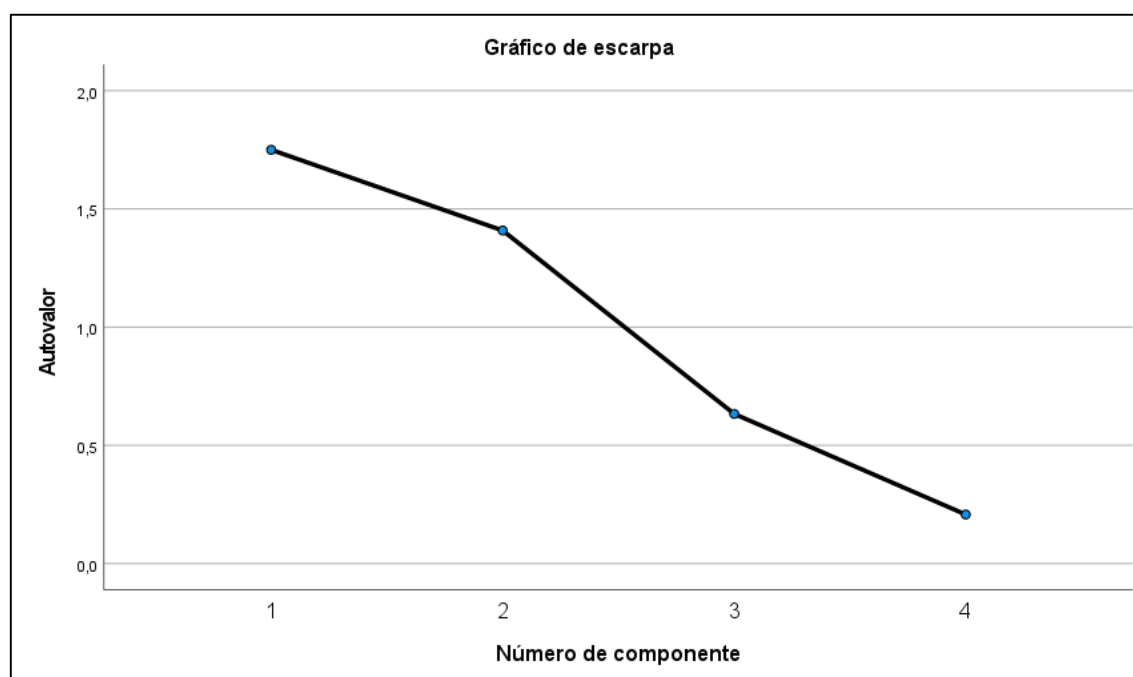
Variância Total Explicada									
Autovalores iniciais				Extração de somas de cargas quadradas			Resultados de tradução Soma de rotação de cargas quadradas		
COMPONENTE	Total	% da variância	% Acumulativa	Total	% da variância	% Acumulativa	Total	% da variância	% Acumulativa
1	1,750	43,757	43,757	1,750	43,757	43,757	1,611	40,280	40,280
2	1,409	35,225	78,981	1,409	35,225	78,981	1,548	38,702	78,981
3	0,633	15,830	94,812						
4	0,208	5,188	100,000						

Método de Extração: Análise de Componentes Principais

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

O Gráfico 1 representa graficamente a porcentagem acumulativa da Tabela 9.

Gráfico 1: Porcentagem acumulativa



Fonte: Elaborado pelo programa SPSS.

A composição de cada componente, de acordo com os indicadores selecionados, está representada na Tabela 10. Hair et al. (2009) afirma que valores acima de 0,4 devem ser considerados, independente dos sinais atrelados a eles (positivo/negativo).

Tabela 10: Matriz Componentes

Matriz de Componentes^a		
	Componentes	
	1	2
INS2	-0,532	0,731
RES1	-0,624	0,521
RES2	0,831	
EMI1	0,622	0,701

Método de Extração: Análise de

a. componentes extraídos

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Neste caso, para melhorar os ajustes das cargas fatoriais e facilitar o agrupamento dos fatores, foi realizada uma Rotação. A Tabela 11 ilustra o agrupamento em questão.

Tabela 11: Matriz Componentes Rotacionada

Matriz de componentes rotacionada^a		
	Componentes	
	1	2
INS2		0,902
RES1		0,799
RES2	0,853	
EMI1	0,926	

Método de Extração: Análise de Componentes

a. A rotação convergiu em 3 iterações

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Pode-se observar que o Componente 1 tem como principais indicadores “Emissões de CO₂” e “Resíduos Perigosos gerados”. Portanto, o Componente 1 dos *inputs* foi nomeado como “Emissões e Resíduos Perigosos”, uma vez que os indicadores que o compõe retratam este cenário. A mesma análise é feita para o Componente 2, constituída pelo indicador “Produtividade de recursos e consumo de material doméstico” e “Resíduos municipais gerados”, nomeado como “Consumo e Resíduos Urbanos”.

Assim, utilizando estes coeficientes (Componentes 1 e 2), foram gerados componentes individuais para cada país. A Tabela 12 apresenta estes valores referentes ao ano de 2015.

Tabela 12: Componentes de input para cada país

PAÍSES	INPUTS					
	INS2	RES1	RES2	EMI1	Emissões e Resíduos Perigosos	Consumo e Resíduos Urbanos
ALEMANHA	2,21	51625,00	280,30	8,89	0,14559	1,87372
ÁUSTRIA	1,99	4836,00	144,15	6,87	-0,11822	0,00252
BÉLGICA	2,66	4642,62	335,81	8,33	0,24346	0,47051
DINAMARCA	2,02	4440,00	352,06	5,94	-0,19893	-0,04618
ESLOVÁQUIA	1,14	1784,18	91,17	5,66	-0,40808	-0,6944
ESLOVÊNIA	1,35	925,94	59,60	6,21	-0,30583	-0,56556
ESPANHA	2,61	21157,80	68,27	5,03	-0,41269	0,9035
ESTÔNIA	0,51	472,55	7354,43	14,85	3,20851	-1,27223
FINLÂNDIA	1,13	2738,28	434,45	8,66	0,17125	-0,56541
FRANÇA	2,84	34344,00	170,26	4,57	-0,46547	1,4902
HUNGRIA	0,88	3712,00	46,87	4,27	-0,6754	-0,84715
ITÁLIA	3,23	29524,00	160,01	5,27	-0,30362	1,59838
LETÔNIA	0,83	798,06	33,55	3,50	-0,79979	-1,01354
LITUÂNIA	0,77	1300,00	60,89	4,38	-0,65876	-0,99901
LUXEMBURGO	3,42	345,95	737,90	17,36	1,89623	1,15361
POLÔNIA	0,65	10863,00	50,47	7,52	-0,19899	-0,6045
PORTUGAL	1,10	4768,81	80,83	4,33	-0,63526	-0,6694
SUÉCIA	1,84	4421,57	241,89	4,48	-0,48402	-0,21507

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

É importante ressaltar que, todos os indicadores possuem cargas para todos os componentes. Porém, conforme o corte proposto na literatura por Hair et al. (2009), após a rotação, apenas permanece na matriz os valores acima de 0,4 por serem relevantes para cada fator. Entretanto, quando o programa calcular o valor de cada componente para cada país, o programa utilizou todas as cargas ocultas pelo corte realizado. E, por isso, será possível observar, posteriormente, valores de fatores negativos.

4.3.4.2 Resultados da Análise de Componentes Principais dos *outputs*

Seguindo os mesmos passos dos valores dos *inputs*, foram rodados testes para análises com os dados considerados *outputs* da EC.

A Tabela 13 apresenta os testes de KMO e Bartlett, para aferir se o número de dados e variáveis eram suficientes.

Tabela 13: Valores dos testes de KMO e Bartlett

TESTE KMO e BARTLETT	
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de Adequação da Amostragem	0,594
Teste de esfericidade de Bartlett	Aprox Qui-quadrado
	27,432
	df
	15
	Significância
	0,025

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

O teste de KMO apresentou um resultado de 0,594. Este valor, segundo Kaiser (1974), é aceitável, assim como o teste de Bartlett que apresenta um valor inferior a 0,05.

Outro teste realizado foi a Matriz de anti-imagem. Conforme a literatura (HAIR et al., 2009), a diagonal da matriz, identificada com “a”, apresenta valores acima de 0,5. Portanto os dados relacionados mostram-se assertivos para o contexto da análise. A Tabela 14 traz os resultados deste teste.

Tabela 14: Matrizes anti-imagem

MATRIZ ANTI-IMAGEM							
MATRIZ ANTI-IMAGEM		TEC1	ENE1	INS3	INS1	REC1	REC2
CORRELAÇÃO ANTI-IMAGEM	TEC1	,628 ^a	0,066	-0,201	-0,029	-0,344	-0,513
	ENE1	0,066	,534 ^a	-0,014	-0,710	-0,070	-0,210
	INS3	-0,201	-0,014	,711 ^a	0,313	-0,301	0,139
	INS1	-0,029	-0,710	0,313	,556 ^a	-0,037	0,241
	REC1	-0,344	-0,070	-0,301	-0,037	,677 ^a	0,023
	REC2	-0,513	-0,210	0,139	0,241	0,023	,508 ^a

a. Medidas de adequação da amostragem (MSA)

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

No teste de Comunalidade, cujos resultados são apresentados na Tabela 15, a coluna Extração apresenta valores acima de 0,4. Este preceito, conforme Malhotra (2011), identifica que os dados utilizados são bons.

Tabela 15: Comunalidades

COMUNALIDADES		
	INICIAL	EXTRAÇÃO
TEC1	1,000	0,772
ENE1	1,000	0,847
INS3	1,000	0,732
INS1	1,000	0,869
REC1	1,000	0,790
REC2	1,000	0,892

Método de Extração: Análise de

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Foi realizada também a Variância Total Explicada. Pela Tabela 16, é possível verificar que o programa SPSS criou a partir dos dados de *outputs* 6 componentes, entretanto selecionou apenas 3 deles para a amostra de indicadores, os quais representam 81,6% dos dados. Foi realizado um teste utilizando 4 componentes, que juntos representavam quase 90% dos dados. Entretanto, com um aumento pequeno percentual (de 81,686% para 89,955%), os resultados não foram satisfatórios e não justificaram a escolha de um componente a mais.

Tabela 16: Variância Total explicada

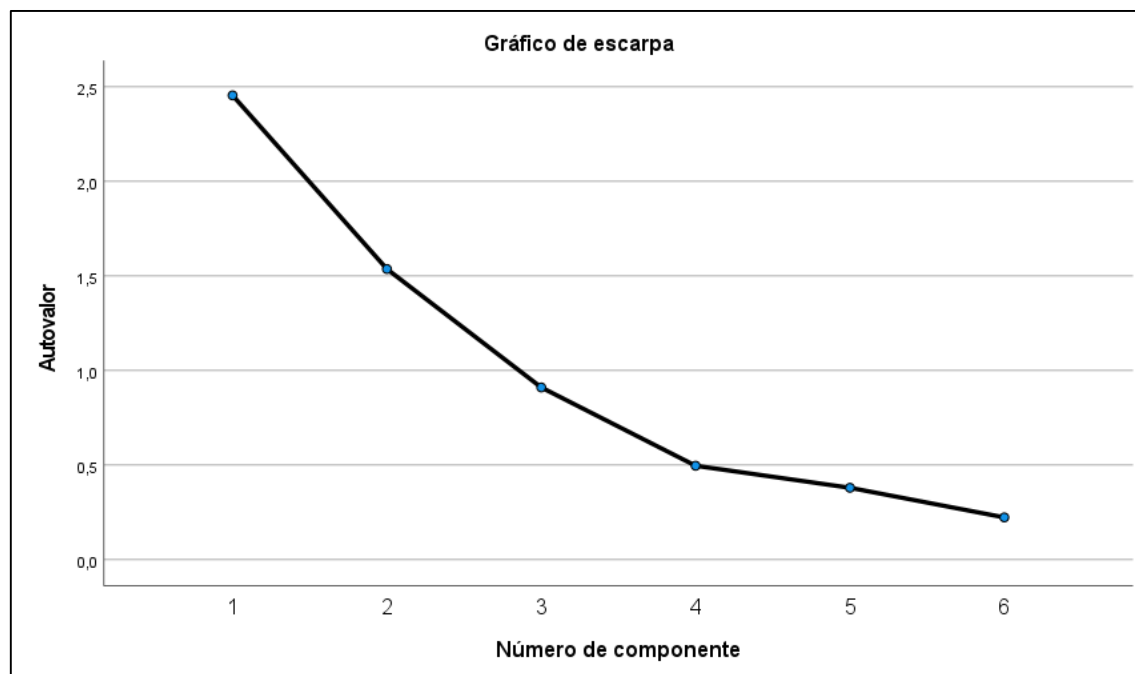
Variância Total Explicada									
Autovalores iniciais				Extração de somas de cargas quadradas			Resultados de tradução Soma de rotação de cargas quadradas		
COMPONENTE	Total	% da variância	% Acumulativa	Total	% da variância	% Acumulativa	Total	% da variância	% Acumulativa
1	2,454	40,907	40,907	2,454	40,907	40,907	1,866	31,106	31,106
2	1,536	25,608	66,515	1,536	25,608	66,515	1,546	25,769	56,875
3	0,910	15,171	81,686	0,910	15,171	81,686	1,489	24,811	81,686
4	0,496	8,269	89,955						
5	0,380	6,328	96,282						
6	0,223	3,718	100,000						

Método de Extração: Análise de Componentes Principais

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

O Gráfico 2 representa graficamente a porcentagem acumulativa da Tabela 16.

Gráfico 2: Porcentagem acumulativa



Fonte: Elaborado pelo programa SPSS.

A composição de cada componente está simulada na Tabela 17. Conforme mencionado anteriormente, Hair et al. (2009) afirma que valores acima de 0,4 devem ser considerados, independente dos sinais atrelados a eles (positivo/negativo).

Tabela 17: Matriz Componentes

Matriz de Componentes^a			
	Componentes		
	1	2	3
INS3	0,725		0,449
ENE1	-0,723	0,563	
TEC1	0,710	0,497	
REC1	0,571	0,460	0,502
INS1	-0,568	0,713	
REC2	0,504	0,497	-0,625

Método de Extração: Análise de Componentes

a. 4 componentes extraídos

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Da mesma forma que nos dados dos *inputs*, para melhorar os ajustes das cargas fatoriais e facilitar o agrupamento dos fatores, foi realizada uma Rotação utilizando o método varimax. A Tabela 18 ilustra o agrupamento em questão.

Tabela 18: Matriz Componentes Rotacionada

Matriz de componentes rotacionada^a			
	Componentes		
	1	2	3
INS1	0,919		
ENE1	0,909		
REC1		0,859	
INS3		0,744	
REC2			0,943
TEC1		0,485	0,727

Método de Extração: Análise de

a. A rotação convergiu em 5 iterações

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

O Componente 1 tem como principais indicadores “Consumo de energia renovável” e “Participação da energia renovável no consumo total de energia final”. Assim, o Componente 1 dos *outputs* será referenciado como “Energia Renovável”. O Componente 2, composto pelos indicadores “Resíduos municipais reciclados ou compostados” e “Taxa de uso de material circular”, será intitulado como “Reciclagem e Material Circular”. E, por fim, o Componente 3 apresenta como principais indicadores “Comércio de matérias-primas recicláveis” e “Desenvolvimento de tecnologia ambiental”. E, diante dos indicadores que o compõe, o Componente 3 dos *outputs* será nomeado como “Comércio e Tecnologia”.

Utilizando estes coeficientes (Componentes 1, 2 e 3), foram gerados componentes individuais para cada país. A Tabela 19 apresenta estes valores referentes ao ano de 2015.

Tabela 19: Componentes de output para cada país

PAÍSES	OUTPUTS								
	TEC1	ENE1	INS3	INS1	REC1	REC2	Energia Renovável	Reciclagem e Material Circular	Comércio e Tecnologia
ALEMANHA	30357,23	29,23	11,40	14,21	66,74	1621160	-0,15073	1,33511	2,78213
ÁUSTRIA	2701,83	76,49	10,90	34,35	58,20	224773	1,70163	1,30287	-0,39603
BÉLGICA	2001,50	20,80	18,30	9,31	53,49	289514	-1,06015	1,43052	-0,68724
DINAMARCA	1719,77	65,51	8,40	33,54	1,15	116317	0,77004	-1,29338	-0,20447
ESLOVÁQUIA	120,58	22,68	5,00	13,41	14,97	9035	-0,94166	-1,45939	-0,36662
ESLOVÊNIA	156,25	29,39	8,40	20,81	57,66	110289	-0,06661	0,65862	-0,63366
ESPANHA	2125,57	34,95	7,50	16,27	29,98	2319942	-0,39254	-1,45366	2,30891
ESTÔNIA	51,50	14,42	11,40	27,54	30,85	4143	-0,60741	-0,08303	-0,83432
FINLÂNDIA	1488,55	44,50	6,50	43,23	40,59	17436	1,08246	0,05176	-0,56712
FRANÇA	11955,71	15,86	18,70	13,66	40,75	643516	-1,13307	1,03305	0,32807
HUNGRIA	310,82	10,58	5,80	15,52	32,18	41252	-1,0116	-0,74783	-0,48708
ITÁLIA	5821,24	38,68	16,60	16,57	48,05	683936	-0,28633	1,08243	0,11807
LETÔNIA	24,33	50,17	5,40	38,10	31,01	29236	0,94832	-0,48863	-0,49899
LITUÂNIA	33,51	39,41	4,10	28,96	33,58	35198	0,36281	-0,64432	-0,43139
LUXEMBURGO	117,20	32,38	9,60	9,09	47,50	23510	-0,59222	0,36935	-0,66811
POLÔNIA	826,41	13,80	11,60	11,87	32,48	235977	-1,21919	-0,17365	-0,45269
PORTUGAL	309,64	47,53	2,10	27,21	31,04	653672	0,53935	-1,19234	0,44632
SUÉCIA	2914,14	63,26	6,80	53,10	47,55	674338	2,05689	0,2725	0,24423

Fonte: Elaborada pelo programa SPSS.

Novamente, é importante ressaltar que, todos os indicadores possuem cargas para todos os componentes, assim como citado durante o cálculo dos componentes dos dados de *input*. Porém, conforme o corte proposto na literatura por Malhotra (2011), após a rotação, apenas permanece na matriz os valores acima de 0,4 por serem relevantes para cada fator. Mas, quando o programa calcular o valor de cada componente para cada país, ele utilizou todas as cargas ocultas pelo corte realizado. E, por isso, será possível observar, posteriormente, valores de fatores negativos.

4.3.5 Resultados do *Range Adjusted Model* (RAM) da Análise Envoltória de Dados (DEA)

Após a análise de viabilidade da utilização dos indicadores, foram testados alguns modelos de aplicação da DEA nos cinco componentes construídos na etapa anterior, sendo eles dois negativos (tratados como *inputs*) e três positivos (tratados como *outputs*). Alguns deles empatavam os IEC criados para os países em questão. Então, após discussões referentes aos dados apresentados e aos modelos DEA, foi selecionado o modelo *Range Adjusted Model* (RAM).

A Tabela 20 reúne os componentes, já nomeados, dos *inputs* e *outputs* gerados pelo programa SPSS conforme apresentados nas Tabelas 12 e 19.

Tabela 20: Componentes dos inputs e outputs

PAÍSES	INPUTS		OUTPUTS		
	Emissões e Resíduos Perigosos	Consumo e Resíduos Urbanos	Energia Renovável	Reciclagem e Material Circular	Comércio e Tecnologia
ALEMANHA	0,14559	1,87372	-0,15073	1,33511	2,78213
ÁUSTRIA	-0,11822	0,00252	1,70163	1,30287	-0,39603
BÉLGICA	0,24346	0,47051	-1,06015	1,43052	-0,68724
DINAMARCA	-0,19893	-0,04618	0,77004	-1,29338	-0,20447
ESLOVÁQUIA	-0,40808	-0,6944	-0,94166	-1,45939	-0,36662
ESLOVÊNIA	-0,30583	-0,56556	-0,06661	0,65862	-0,63366
ESPANHA	-0,41269	0,9035	-0,39254	-1,45366	2,30891
ESTÔNIA	3,20851	-1,27223	-0,60741	-0,08303	-0,83432
FINLÂNDIA	0,17125	-0,56541	1,08246	0,05176	-0,56712
FRANÇA	-0,46547	1,4902	-1,13307	1,03305	0,32807
HUNGRIA	-0,6754	-0,84715	-1,0116	-0,74783	-0,48708
ITÁLIA	-0,30362	1,59838	-0,28633	1,08243	0,11807
LETÔNIA	-0,79979	-1,01354	0,94832	-0,48863	-0,49899
LITUÂNIA	-0,65876	-0,99901	0,36281	-0,64432	-0,43139
LUXEMBURGO	1,89623	1,15361	-0,59222	0,36935	-0,66811
POLÔNIA	-0,19899	-0,6045	-1,21919	-0,17365	-0,45269
PORTUGAL	-0,63526	-0,6694	0,53935	-1,19234	0,44632
SUÉCIA	-0,48402	-0,21507	2,05689	0,2725	0,24423

Fonte: Elaborada pela autora.

Primeiramente, foram observados os valores dos Componentes 1 e 2 dos *Inputs* e dos Componentes 1, 2 e 3 dos *Outputs*. Para trabalhar com a DEA, estes valores não podem ser negativos. Sendo assim, foi necessário efetuar a translação, somando um coeficiente a todos estes valores no intuito de eliminar os valores negativos. Observando os valores, a decisão foi somar 2,5, um valor arbitrário, mas que não afeta os resultados.

Tabela 21: Translação dos valores de inputs e outputs

PAÍSES	TRANSLAÇÃO				
	INPUTS		Energia Renovável	OUTPUTS	
	Emissões e Resíduos Perigosos	Consumo e Resíduos Urbanos		Reciclagem e Material Circular	Comércio e Tecnologia
ALEMANHA	2,64559	4,37372	2,34927	3,83511	5,28213
ÁUSTRIA	2,38178	2,50252	4,20163	3,80287	2,10397
BÉLGICA	2,74346	2,97051	1,43985	3,93052	1,81276
DINAMARCA	2,30107	2,45382	3,27004	1,20662	2,29553
ESLOVÁQUIA	2,09192	1,8056	1,55834	1,04061	2,13338
ESLOVÊNIA	2,19417	1,93444	2,43339	3,15862	1,86634
ESPANHA	2,08731	3,4035	2,10746	1,04634	4,80891
ESTÔNIA	5,70851	1,22777	1,89259	2,41697	1,66568
FINLÂNDIA	2,67125	1,93459	3,58246	2,55176	1,93288
FRANÇA	2,03453	3,9902	1,36693	3,53305	2,82807
HUNGRIA	1,8246	1,65285	1,4884	1,75217	2,01292
ITÁLIA	2,19638	4,09838	2,21367	3,58243	2,61807
LETÔNIA	1,70021	1,48646	3,44832	2,01137	2,00101
LITUÂNIA	1,84124	1,50099	2,86281	1,85568	2,06861
LUXEMBURGO	4,39623	3,65361	1,90778	2,86935	1,83189
POLÔNIA	2,30101	1,8955	1,28081	2,32635	2,04731
PORTUGAL	1,86474	1,8306	3,03935	1,30766	2,94632
SUÉCIA	2,01598	2,28493	4,55689	2,7725	2,74423

Fonte: Elaborada pela autora.

Com os valores ajustados, o passo seguinte foi a criação do IEC a partir da aplicação do modelo RAM com restrições aos pesos para cada um dos países analisados. Antes da construção deste IEC pelo modelo RAM com restrições aos pesos apresentado na seção de método, foi rodado um modelo DEA sem nenhum tipo de restrição para efeitos de teste. Entretanto, mesmo com o uso dos componentes gerados pela PCA, os resultados não foram tão bons, ainda que tenham melhorado significativamente em relação a aplicação preliminar realizada antes da PCA.

Por isso, foi rodado o modelo RAM com restrições aos pesos que garantiu um IEC mais apurado. A Tabela 22 apresenta os resultados dos IECs para cada um dos países da UE.

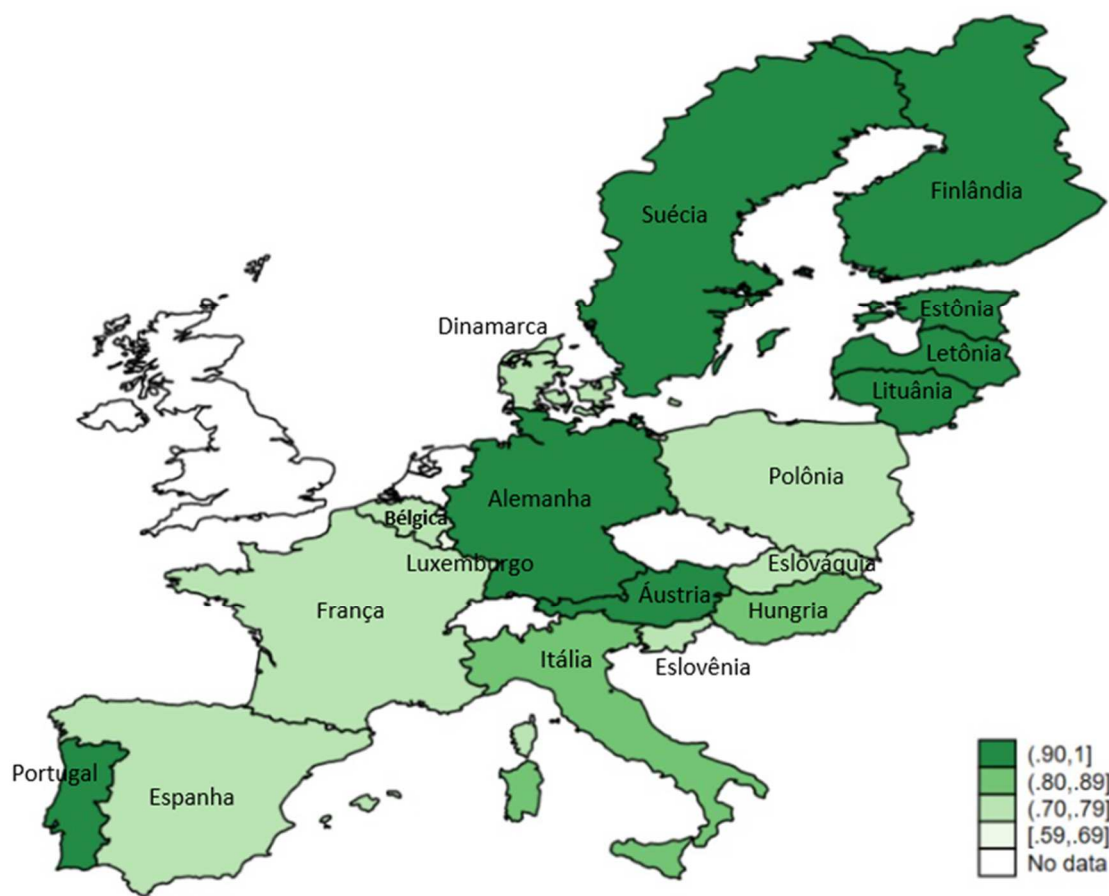
Tabela 22: IEC dos países da EU

PAÍSES	IEC
ALEMANHA	1
ÁUSTRIA	1
BÉLGICA	0,75
DINAMARCA	0,76
ESLOVÁQUIA	0,75
ESLOVÊNIA	0,94
ESPAÑA	0,73
ESTÔNIA	1
FINLÂNDIA	0,91
FRANÇA	0,71
HUNGRIA	0,83
ITÁLIA	0,80
LETÔNIA	1
LITUÂNIA	0,95
LUXEMBURGO	0,59
POLÔNIA	0,79
PORTUGAL	0,92
SUÉCIA	1

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 6 apresenta o mapa dos países da UE com os respectivos intervalos de variação do IEC, conforme identificado na legenda da mesma. A intensidade da cor verde identifica os países com maiores IEC. Quanto mais forte for o tom, mais próximo o IEC daquele país está do valor 1, ou seja, da fronteira.

Figura 6: Mapa do IEC para países da EU



Fonte: Elaborada pela autora.

Com a criação do índice, foi possível identificar que 5 países se localizam na fronteira, apresentando um índice igual a 1. São eles: Alemanha, Áustria, Estônia, Letônia e Suécia. Os demais países da UE, contemplados nesta pesquisa, foram discriminados com índices diferentes de 1.

Além da determinação do IEC, foram realizadas outras análises a partir dos resultados da DEA. Primeiro, foi analisado a contribuição relativa, ou seja, qual porcentagem cada variável (componente) está contribuindo para o IEC do país, ou seja, qual é o peso destes componentes para a definição do índice. Assim, pode-se observar pela Tabela 23 o seguinte cenário: Para Alemanha, por exemplo, o componente referente aos “Consumo e Resíduos Urbanos” contribuem para a formação do IEC deste país em relação ao componente “Emissões e Resíduos Perigosos”, numa porcentagem de 67,81% à 32,19%. Quanto aos outputs, o que exerce maior contribuição para o IEC é variável referente à “Comércio e Tecnologia” com 56,11%, seguido do “Reciclagem e Material

Circular” com 23,9% e “Energia Renovável” com 20%. As relações dos demais países podem ser observadas na Tabela 23.

Tabela 23: Análise de contribuição relativa

PAÍSES	CONTRIBUIÇÃO RELATIVA				
	INPUTS		OUTPUTS		
	Emissões e Resíduos Perigosos	Consumo e Resíduos Urbanos	Energia Renovável	Reciclagem e Material Circular	Comércio e Tecnologia
ALEMANHA	32,19%	67,81%	20,00%	23,89%	56,11%
ÁUSTRIA	42,76%	57,24%	32,44%	47,56%	20,00%
BÉLGICA	42,02%	57,98%	20,00%	58,46%	21,54%
DINAMARCA	42,40%	57,60%	48,68%	20,36%	30,96%
ESLOVÁQUIA	24,06%	75,94%	33,36%	25,26%	41,38%
ESLOVÊNIA	20,00%	80,00%	20,00%	60,00%	20,00%
ESPAÑA	40,88%	59,12%	26,08%	20,00%	53,92%
ESTÔNIA	20,00%	80,00%	20,00%	60,00%	20,00%
FINLÂNDIA	26,15%	73,85%	40,92%	39,08%	20,00%
FRANÇA	28,58%	71,42%	20,00%	48,79%	31,21%
HUNGRIA	23,19%	76,81%	28,09%	37,49%	34,42%
ITÁLIA	49,72%	50,28%	20,00%	58,57%	21,43%
LETÔNIA	23,83%	76,17%	45,73%	30,24%	24,04%
LITUÂNIA	20,00%	80,00%	27,22%	20,00%	52,78%
LUXEMBURGO	48,57%	51,43%	24,99%	53,28%	21,73%
POLÔNIA	24,92%	75,08%	22,19%	45,68%	32,13%
PORTUGAL	20,00%	80,00%	20,00%	20,00%	60,00%
SUÉCIA	40,91%	59,09%	36,46%	36,16%	27,39%

Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente, foi realizada a análise de *Benchmarks*. De acordo com os pressupostos da DEA, os países que não se localizam na fronteira, podem utilizar como referência países com índice igual a 1 como *benchmarks* para melhorarem o seu desempenho. Estas referências podem contemplar mais de um país como *benchmark*. Nesta análise, 3 países apareceram como referência para os demais que não se encontravam na fronteira, são eles: Áustria, Letônia e Suécia.

Por exemplo, pôde-se identificar que Suécia, seguido da Letônia, serviram de *benchmark* para maior parte dos países. Já a Áustria, sempre em menores proporções e juntamente com a Suécia ou a Letônia, apenas para Espanha, Itália e Luxemburgo.

A Tabela 24 ilustra estas relações de *benchmarks*.

Tabela 24: Análise de benchmarks entre os países

PAÍSES	IEC	BENCHMARKS		
		ÁUSTRIA	LETÔNIA	SUÉCIA
ALEMANHA	1	0%	0%	0%
ÁUSTRIA	1	100%	0%	0%
BÉLGICA	0,75	0%	0%	100%
DINAMARCA	0,76	0%	0%	100%
ESLOVÁQUIA	0,75	0%	60%	39,97%
ESLOVÊNIA	0,94	0%	35,85%	64,15%
ESPAÑA	0,73	19,50%	0%	80,50%
ESTÔNIA	1	0%	0%	0%
FINLÂNDIA	0,91	0%	43,88%	56,12%
FRANÇA	0,71	0%	0%	100%
HUNGRIA	0,83	0%	79,16%	20,84%
ITÁLIA	0,80	49,32%	0%	50,68%
LETÔNIA	1	0%	100%	0%
LITUÂNIA	0,95	0%	94,98%	5,02%
LUXEMBURGO	0,59	9,40%	0%	90,60%
POLÔNIA	0,79	0%	48,77%	51,23%
PORTUGAL	0,92	0%	56,10%	43,90%
SUÉCIA	1	0%	0%	100%

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise das folgas refere-se à países ineficientes e quanto eles precisam melhorar. É possível identificar pela Tabela 25 que a maioria dos países precisam investir uma atenção maior quanto às questões de “Emissões e Resíduos Perigosos” quando comparado com “Consumo e Resíduos Urbanos”. Estas escolhas não são excludentes e servem como parâmetro para o desenvolvimento do país e um caminho ao IEC igual à 1. Quanto aos outputs, “Energia Renovável apresenta as maiores folgas, necessitando de um nível de atenção maior para ações que a impulsione. Resumindo, a Análise de Folgas serve como meta para o desenvolvimento e melhoria dos países em cada conjunto de ações da EC.

Tabela 25: Análise de folgas

PAÍSES	IEC	ANÁLISE DE FOLGAS				
		INPUTS		OUTPUTS		
		Emissões e Resíduos Perigosos	Consumo e Resíduos Urbanos	Energia Renovável	Reciclagem e Material Circular	Comércio e Tecnologia
ALEMANHA	1	0	0	0	0	0
ÁUSTRIA	1	0	0	0	0	0
BÉLGICA	0,75	0,727	0,686	0	0,969	1,913
DINAMARCA	0,76	0,285	0,169	1,287	1,566	0,449
ESLOVÁQUIA	0,75	0,266	0	2,333	1,275	0,165
ESLOVÊNIA	0,94	0	0	1,000	0	0
ESPANHA	0,73	0	1,076	3,351	0	0,025
ESTÔNIA	1	0	0	0	0	0
FINLÂNDIA	0,91	0,794	0	0,647	0	0,142
FRANÇA	0,71	0,019	1,705	0,00	1,301	1,566
HUNGRIA	0,83	0,059	0	2,191	0,418	0,143
ITÁLIA	0,80	0	1,71	1,42	0	0,03
LETÔNIA	1	0	0	0	0	0
LITUÂNIA	0,95	0	0	0,683	0,085	0
LUXEMBURGO	0,59	2,346	1,348	2,616	0	0,852
POLÔNIA	0,79	0,439	0	2,735	0,075	0,334
PORTUGAL	0,92	0	0	1,392	0	0
SUÉCIA	1	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Resultados da Análise Estatística

Com o IEC e as análises pertinentes explanadas acima, foi possível alcançar o outro objetivo desta pesquisa: a existência ou não da relação entre o IEC e alguns indicadores compostos do RDH.

Os valores obtidos no RDH (2016) são referentes ao ano de 2015, assim como todos os valores utilizados nesta pesquisa. A Tabela 26 traz os valores destes indicadores (IDH, IDHad, IDevG).

Tabela 26: Valores do RDH 2016 com ano de referência 2015

PAÍSES	IDH	Expectativa de vida no nascimento (anos)	Anos esperados de escolaridade (anos)	Anos médios de escolaridade (anos)	Renda nacional bruta (RNB) per capita	Classificação do RNB per capita menos classificação do IDH	IDH ajustado à desigualdade (IDGad)	Coefficiente de desigualdade humana	Desigualdade na expectativa de vida	Índice de expectativa de vida ajustado à desigualdade	Desigualdade na educação	Índice de educação ajustado à desigualdade	Desigualdade na renda	Índice de renda ajustado à desigualdade	Índice de Desenvolvimento de Gênero (IDeV G)	Índice de Desenvolvimento Humano Feminino (IDH)	Índice de Desenvolvimento Humano Masculino (IDH)
ALEMANHA	0.926	81.1	17.1	13.2	45	13	0.859	7.0	3.7	0.905	2.6	0.891	14.8	0.787	0.964	0.908	0.942
ÁUSTRIA	0.893	81.6	15.9	11.3	43,609	—4	0.815	8.5	3.7	0.912	4.3	0.785	17.5	0.757	0.957	0.870	0.909
BÉLGICA	0.896	81.0	16.6	11.4	41,243	1	0.821	8.3	4.0	0.901	8.1	0.773	12.7	0.794	0.978	0.881	0.901
DINAMARCA	0.925	80.4	19.2	12.7	44,519	13	0.858	7.0	3.8	0.894	3.0	0.896	14.3	0.789	0.970	0.910	0.938
ESLOVÁQUIA	0.845	76.4	15.0	12.2	26,764	1	0.793	6.0	5.3	0.822	1.4	0.812	11.4	0.748	0.991	0.838	0.846
ESLOVÊNIA	0.890	80.6	17.3	12.1	28,664	13	0.838	5.8	3.6	0.898	2.6	0.863	11.3	0.758	1.003	0.890	0.888
ESPANHA	0.884	82.8	17.7	9.8	32,779	7	0.791	10.1	3.5	0.932	5.1	0.777	21.8	0.684	0.974	0.870	0.894
ESTÔNIA	0.865	77.0	16.5	12.5	26,362	12	0.788	8.6	4.8	0.835	2.3	0.856	18.7	0.684	1.032	0.878	0.851
FINLÂNDIA	0.895	81.0	17.0	11.2	38,868	1	0.843	5.7	3.4	0.907	2.0	0.830	11.6	0.796	1.000	0.895	0.895
FRANÇA	0.897	82.4	16.3	11.6	38,085	4	0.813	9.3	4.0	0.921	7.5	0.776	16.3	0.752	0.988	0.892	0.902
HUNGRIA	0.836	75.3	15.6	12.0	23,394	6	0.771	7.6	5.2	0.807	3.1	0.808	14.6	0.704	0.988	0.830	0.840
ITÁLIA	0.887	83.3	16.3	10.9	33,573	6	0.784	11.2	3.0	0.945	9.9	0.734	20.8	0.696	0.963	0.865	0.899
LETÔNIA	0.830	74.3	16.0	11.7	22,589	7	0.742	10.3	6.7	0.780	3.8	0.803	20.3	0.653	1.025	0.840	0.820
LITUÂNIA	0.848	73.5	16.5	12.7	26,006	7	0.759	10.2	5.5	0.778	5.6	0.833	19.6	0.675	1.032	0.861	0.834
LUXEMBURGO	0.898	81.9	13.9	12.0	62,471	—12	0.827	7.8	2.6	0.927	5.8	0.738	15.1	0.826	0.966	0.881	0.911
POLÔNIA	0.855	77.6	16.4	11.9	24,117	11	0.774	9.3	5.2	0.840	5.4	0.806	17.4	0.685	1.006	0.857	0.852
PORTUGAL	0.843	81.2	16.6	8.9	26,104	2	0.755	10.1	3.9	0.905	5.9	0.712	20.4	0.669	0.980	0.833	0.850
SUÉCIA	0.913	82.3	16.1	12.3	46,251	2	0.851	6.6	3.3	0.928	3.4	0.826	13.1	0.806	0.997	0.909	0.911

Fonte: RDH, 2016.

Utilizando esse valores do RDH (2016) e o IEC, foi desenvolvida uma matriz de correlação (Apêndice 2). Na Tabela 27 foi apresentada apenas uma correlação 2 a 2 com as medidas oportunas para a discussão deste artigo. A correlação pode variar entre os valores 1 e -1, assim apenas 3 correlações foram dignas de nota (maior que 0,4 em módulo): Desigualdade na educação (-0,41), Índice de educação ajustado à desigualdade (0,42) e Índice de Desenvolvimento de Gênero (IDevG) (0,41).

Isso significa que existe uma correlação entre estas variáveis de desenvolvimento humano e a EC. Por exemplo, o valor -0,41 identifica que existe uma correlação inversamente proporcional entre a desigualdade de educação e a EC, ou seja, quanto maior a desigualdade educacional, menor será o desenvolvimento da EC naquele país. Da mesma forma, mas de forma diretamente proporcional, acontece com as duas outras correlações. Assim, quanto maior o Índice de educação ajustado à desigualdade e o Índice de Desenvolvimento de Gênero (IDevG), mais presente e desenvolvida tende ser a EC.

Assim, pela Matriz de Correlação, é possível afirmar a existência dessas correlações, mas não identificar a interferência de uma variável na outra, ou seja, se a EC altera as questões de educação ou se a educação altera as questões de EC. Diante do exposto, testes mais robustos foram desenvolvidos para estas 3 correlações.

Tabela 27: Matriz de Correlação

IEC / INDICADORES RDH	IEC
IEC	1
IDH	-0,10
Expectativa de vida no nascimento (anos)	-0,27
Anos esperados de escolaridade (anos)	0,20
Anos médios de escolaridade (anos)	0,17
Renda nacional bruta (RNB) per capita	-0,32
Classificação do RNB per capita menos classificação do IDH	0,37
IDH ajustado à desigualdade (IDGad)	-0,06
Coeficiente de desigualdade humana	-0,06
Desigualdade na expectativa de vida	0,28
Índice de expectativa de vida ajustado à desigualdade	-0,27
Desigualdade na educação	-0,41
Índice de educação ajustado à desigualdade	0,42
Desigualdade na renda	0,10
Índice de renda ajustado à desigualdade	-0,24
Índice de Desenvolvimento de Gênero (IDevG)	0,41
Índice de Desenvolvimento Humano Feminino (IDH)	0,05
Índice de Desenvolvimento Humano Masculino (IDH)	-0,19

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir de uma Regressão Linear simples, essas correlações foram testadas. Porém, apenas a variável Desigualdade de educação apresentou um P valor inferior a 0,1 (0,089). Esse resultado confirma que, estatisticamente, a relação entre o IEC e a variável existe. A Tabela 28 apresenta os valores obtidos na Regressão Linear para a variável Desigualdade de educação.

Tabela 28: Regressão Linear

Resultados da Regressão Linear	
Variável: Desigualdade de educação	
R-Quadrado	0,1697967
P valor do Teste T	0,0892833
Coeficientes	-0,0226511

Fonte: Autora.

Alguns resultados da Regressão Linear devem ser discutidos porque explicam a correlação identificada. O R – quadrado mostra o quanto da variação da EC foi explicada pela variável Desigualdade de educação. Ainda que o valor de R-Quadrado (0,16) não seja alto, sabendo que ele pode alcançar valores até 1, ele traduz que as questões de EC podem ser explicadas pelas desigualdade existente na educação. Ou seja, a Desigualdade de educação explica 16% da EC, os outros 84% são explicados por outras variáveis, provavelmente de cunho social, econômico ou cultural, mas não são explicadas pelo DH.

O P valor do Teste T (0,08928), inferior a 0,1, é um indicativo que a correlação entre EC e Desigualdade de educação existe e que as variações ocorridas em educação podem interferir na questões de EC de uma país.

Por último, quanto ao coeficiente da variável Desigualdade de educação, uma ressalva importante a ser comentada é o sinal negativo que ele carrega. Esse sinal atribui uma correlação inversamente proporcional da variável à EC, ou seja, quanto maior for a desigualdade educacional, menor será a circularidade naquele país em questão.

Entretanto, cabe destacar que todas as correlações deram baixas. Isso indica que o IEC não está fortemente relacionado com os indicadores de DH. Ainda assim, a relação diagnosticada entre EC e Desigualdade de educação é um ponto de partida para futuras análises, como por exemplo se educação é o canal de implementação de uma EC.

Esta análise foi uma busca inicial e exploratória entre DH e EC, mas várias situações não foram consideradas, como análise de endogeneidade, não linearidade e a adoção de variáveis de controle, uma vez que o foco deste trabalho concentrou-se na construção do IEC.

5. DISCUSSÕES

Com estes resultados, algumas discussões foram elaboradas no intuito de aprofundar e compreender as questões abordadas na tese.

5.1 Discussões da Análise da contribuição relativa

A contribuição relativa permite entender quais variáveis o modelo matemático dá mais peso, que são as variáveis em que o país mais se destaca, pois a DEA atribui o peso mais vantajoso para cada variável, com a restrição (adicionada neste trabalho) de que a contribuição relativa deva ser maior que 20%. Assim, pela Tabela 29, é possível perceber em quais variáveis cada país acaba apresentando maior destaque.

É possível identificar uma forte contribuição do *input* “Consumo e Resíduos Urbanos” para a criação do IEC para quase todos os países. Para todos os países, o modelo matemático atribui um peso maior para este componente. Desta forma, foi possível identificar que questões de produtividade de recursos e consumo de materiais domésticos, assim como resíduos municipais gerados (per capita) apresentaram uma forte influência e contribuição para o IEC quando a análise foram os *inputs*.

Embora os resíduos urbanos representem menos de um décimo dos mais de 2,5 mil milhões de toneladas de resíduos gerados anualmente na União Europeia (UE), são bastante visíveis e de natureza complexa (EUROPEAN PARLIAMENT, 2020).

Observando estas questões frente à EC, é coerente esta distribuição de pesos. Tendo em vista que a circularidade foca no aumento do ciclo de vida do produto, permitindo que ele retorne a um novo ciclo após sua utilização, focar em questões como produtividade de recursos e consumo e quantidade de resíduos gerados por pessoa, aponta o nível de implementação e aceitação da EC pela sociedade europeia. E, provavelmente, esta leitura seja realmente mais assertiva do que as questões de emissões de CO₂ e resíduos perigosos gerados, apontados pelo *input* “Emissões e Resíduos Perigosos”. Ainda que as questões de emissões sejam um fator importante para a circularidade, ele a define em um grau menor do que questões de utilização ao máximo dos recursos, mensuração do consumo na expectativa de redução do mesmo e geração de resíduos.

É esperado que questões relacionadas à resíduos sejam tão fortes em países da UE. Em conformidade com o objetivo de neutralidade climática até 2050 no âmbito do Pacto Ecológico, a Comissão Europeia (CE) propôs um novo Plano de Ação para a Economia Circular em março de 2020, centrado na prevenção e gestão de resíduos e destinado a

impulsionar o crescimento, a competitividade e a liderança global da UE neste domínio. Assim, o Parlamento Europeu pediu regras de reciclagem mais rígidas e metas obrigatórias para 2030 relativas ao uso e ao consumo de materiais (EUROPEAN PARLIAMENT, 2021).

Quanto a contribuição relativa dos *outputs*, a contribuição dos 3 componentes são mais equilibradas. Todos eles acabam participando de forma significativa nos diferentes países. Ainda assim, pode-se observar um destaque nas questões de “Reciclagem e Material Circular”. Na Europa a maioria dos países registra taxas de reciclagem superiores a 50%, movimentando um mercado bilionário que rende 1% do PIB do bloco europeu. E as metas são que, até 2030, a UE passe a reciclar 65% de todos os seus resíduos urbanos (EUROSAT,2015).

Ações de EC com essa abordagem contribuem com um peso mais relevante para um maior número de países. Para 55% dos países analisados, este é o componente que mais contribui para a formação do IEC, o que demonstra que é uma ação desenvolvida nestes países. “Comércio e Tecnologia” aparece em segundo lugar e, depois, “Energia Renovável”.

Na Bélgica, por exemplo, o componente “Reciclagem e Material Circular” apresenta uma forte contribuição para a criação do índice (58,46%), enquanto os outros dois praticamente se equilibram: “Comércio e Tecnologia” contribui com 21,54% e “Energia Renovável” com 20%. Assim, é possível afirmar que indicadores referentes aos resíduos municipais reciclados e o uso de materiais circulares são métricas vantajosas à Bélgica e, por isso, contribuem fortemente à construção deste IEC.

A Bélgica tem o melhor sistema de reciclagem da Europa e é reconhecida também pelo eficiente sistema de gerenciamento de lixo. Quase 3/4 dos resíduos residenciais produzidos na região são reutilizados, reciclados ou compostados. Desde que o primeiro Decreto de Resíduos foi aprovado em Flandres em 1981, os objetivos regionais para a geração global de resíduos residenciais, coleta seletiva e compostagem doméstica foram cumpridos e ultrapassados, permitindo evoluir as políticas de gestão de resíduos que passaram da eliminação para a separação e reciclagem da fonte e, finalmente, para a prevenção de produção de lixo. A geração per capita de lixo na região de Flandres tem se mantida estável desde 2000, mostrando um exemplo raro de crescimento econômico sem aumento da produção de lixo (GRAVAGNUOLO et al., 2019).

Uma das estratégias da região de Flandres para prevenir o desperdício e produção de lixo vai para a raiz do problema: o próprio design dos produtos. O país oferece, junto

com parceiros, um conjunto de ferramentas para promover a produção limpa e design sustentável. Por exemplo, uma ferramenta chamada Ecolizer para designers estimarem o impacto ambiental dos produtos. Ela inclui um conjunto de indicadores relacionados a materiais, processamento, transporte, energia e tratamento de resíduos, permitindo que os designers identifiquem oportunidades para reduzir esses impactos, alterando o design. Outras ferramentas são oferecidas às organizações e, muitas vezes, de forma gratuita. Mas, nesta pesquisa é interessante ressaltar que existem também estratégias direcionadas às famílias e indivíduos (GEERKEN et al., 2019).

Uma destas estratégias é a, traduzida, “Pague conforme você produz” (PAYT). O objetivo dela é evitar o desperdício com a aplicação de impostos diferenciados, de acordo com resíduos produzidos, peso e volume. Os moradores são obrigados a distribuir o seu lixo entre três e quatro lixeiras de cores diferentes: uma para lixo geral, uma para os plásticos, uma para papel/papelão e outra para “resíduos de jardim”. O mais caro é a coleta de lixo residual (geral), seguida da coleta de materiais orgânicos, com os menores impostos aplicados a garrafas de plástico, embalagens metálicas e caixas de bebidas. A coleta de papel e papelão, garrafas de vidro e têxteis é gratuita. O imposto sobre resíduos volumosos varia dependendo da quantidade. Podem também receber multas se não separarem seu lixo corretamente (PETIT-BOIX; LEIPOLD, 2018).

Quanto à compostagem doméstica, abordagens bem sucedidas para promovê-la incluem taxas anuais para a coleta de materiais orgânicos, campanhas de educação sobre a compostagem doméstica estimulando a reutilização de resíduos de quintal, incentivo à compostagem nas escolas e demonstrações em fábricas de compostagem comunitária. A Bélgica estima que 100 mil toneladas de materiais orgânicos são mantidos fora do sistema de coleta e manejo a cada ano, graças à compostagem doméstica (PETIT-BOIX; LEIPOLD, 2018).

Ferramentas online também estão disponíveis para organizadores calcularem a pegada ecológica de seus eventos, evitando desperdícios durante a execução, conhecidas como Avaliação e Guia de “Eventos Verdes”. Além disso, é disponibilizada uma lista online de lugares que emprestam louças reutilizáveis para eventos e festas (PETIT-BOIX; LEIPOLD, 2018; JANSSENS et al., 2021).

Uma outra ação, implementada mais recentemente (2020), são as *Circular UCoins*, uma moeda digital que pode ser usada para fazer compras em empresas locais. O projeto chamado “Click” visa aumentar a coleta de resíduos de embalagens incentivando os residentes e visitantes a jogarem seus resíduos nas lixeiras apropriadas. É

necessário usar um aplicativo pelo celular e digitalizar cada item colocado nas lixeiras. O objetivo é promover uma mudança de mentalidade entre moradores e visitantes, estimulando-os a fazer o descarte correto, recompensando-os pelo comportamento (THE CLICK, 2020).

Campanhas adicionais de prevenção ao desperdício para os cidadãos incluem a promoção do uso de água da torneira em vez da engarrafada, desencorajando o uso de embalagens (GEERKEN et al., 2019).

E essa diferença significativa entre as contribuições dos componentes dos *outputs* perdura para uma quantidade significativa dos países, quase metade dos países abordados por esta pesquisa. Essa contribuição de ações relacionadas a “Reciclagem e Material Circular” margeia a casa dos 50%.

No caso da Espanha, esse cenário muda. A contribuição significativa vêm do componente “Comércio e Tecnologia” (53,92%) que aborda questões relacionadas com desenvolvimento de tecnologias ambientais e a taxa de comercialização de matéria-prima reciclável. O país investe em programas relacionados à tecnologia e desenvolvimento e o diferencial deste programa é o olhar atento às questões sociais (ESPAÑA CIRCULAR 2030, 2021).

Ainda que para a Lituânia, a variável “Comércio e Tecnologia” também contribua significativamente para a criação do IEC com 52,78%, é importante mencionar ações do país para o desenvolvimento da “Energia Renovável”. Ações relacionadas ao consumo e participação de energia renovável no total de energia utilizada pelo país tem ganhado destaque neste país. A Lituânia busca independência energética baseada em energias renováveis.

Em 2009, este país decidiu fechar a central nuclear de Ignalina, tornando-se importadora de energia a partir daí. Assim, a Lituânia ficou dependentes das importações de combustíveis fósseis da Rússia. Em 2014, quando a Lituânia se tornou um estado membro da UE, pagou o preço mais alto pelo gás importado, um preço considerado "político". Depois de ter recusado construir uma nova central e de tentar reduzir a sua dependência energética da Rússia, a Lituânia tem apostado nas energias renováveis. Entre elas o uso do combustível de biomassa, que resultou em uma redução de custos para os consumidores e uma redução do emissões de CO₂ (EUROPEAN BIOENERGY DAY, 2021).

Deve-se mencionar que o fato da Lituânia ter recursos de energia renovável significativos, com florestas que cobrem 33,2 % do país (2,2 Mha), permitiu tal

desenvolvimento. Além disso, o preço do uso de biomassa para aquecimento é de até 3 vezes inferior ao preço do gás natural. A quantidade de biomassa per capita na Lituânia é uma das mais altas da UE (MINISTRY OF ENERGY OF THE REPUBLIC OF LITHUANIA, 2021).

Outra área que a Lituânia tem ganhado destaque está relacionada ao desenvolvimento de hidrogênio verde, tipo de combustível sustentável. O Ministério da Energia da Lituânia deve assumir a liderança das diretrizes nacionais de desenvolvimento de hidrogênio para garantir uma transição rápida para uma economia de energia renovável em diferentes setores. O hidrogênio verde está na rota de transformação de uma das atividades de maior desafio dentro dos programas de descarbonização – o setor aéreo. Enquanto a economia mundial se esforça para reduzir as fontes de poluição atmosférica, a área de aviação registrou, nos últimos anos, alta nas emissões de gases de efeito estufa – um aumento de 32% entre 2013 e 2018 (GREEN HYDROGEN, 2021).

5.2 Discussões da Análise dos Benchmarks

Posteriormente, foi realizada a análise de *Benchmarks*, apresentada na Tabela 30. Ela evidencia o quanto cada país que não tem IEC igual a 1, ou seja, que não se localiza na fronteira, utiliza como referência países com índice igual a 1. O modelo RAM da DEA identificou que apenas 3 países foram considerados *benchmark*, ou seja, como referência para que países com IEC inferiores melhorassem o seu desempenho: Áustria, Letônia e Suécia.

Segundo o modelo matemático, Bélgica, Dinamarca e França devem utilizar apenas a Suécia como um norte para progredir ao desenvolvimento da EC, espelhando-se no país. Entretanto, os demais países se dividem e adotam mais de um benchmark.

Então, a análise de *Benchmark* permite identificar quais países que estão na fronteira são mais parecidos com o desempenho daquele determinado país que ainda não alcançou um IEC igual a 1. A Eslováquia, por exemplo, utiliza como *benchmark* a Letônia (60%) e a Suécia (40%) e, portanto, entende-se que estes dois países fornecerão mais subsídios para ela atingir a fronteira e alcançar um IEC igual a 1. Já a Espanha, conta com a Áustria (19,50%) e a Suécia (80,50%). Sendo assim, o resultado desta análise de *Benchmark*, dada em porcentagem, torna-se um guia para os países que não estão na fronteira melhorarem, comparando-os com os países mais similares a ele.

Analisando os países em evidência, pela análise de *Benchmark*, pode-se destacar ações e planejamentos que os representam em EC.

A Suécia, um dos países benchmark apontados pelo modelo RAM nesta pesquisa, tem ambições e políticas ambientais bem construídas, é uma nação forte em inovação e receptiva às novas tecnologias que são bases importantes para o sucesso na transição para uma EC. Como um dos países mais inovadores do mundo, tem conseguido enfrentar essa transição tomando medidas importantes para fortalecer sua competitividade por meio do desenvolvimento tecnológico e da inovação para soluções circulares. O país entende que a chave para uma EC eficaz está em inovação ao longo de toda a cadeia de valor e modelos de negócios circulares que envolvem não apenas empresas e organizações, mas principalmente a sociedade (CIRCULAR ECONOMY, 2021).

A principal fonte de energia da Suécia é a bioenergia, que representa cerca de 36% do consumo total de energia do país. Mais de 99% do lixo doméstico sueco e 53% do material plástico são reciclados. A Suécia tem uma alta taxa de reciclagem em comparação com outros países europeus. No entanto, o uso de recursos per capita na Suécia está acima da média da UE (EEA, 2011) e os resíduos gerados per capita estão crescendo rapidamente (SEPA, 2021).

Quando o assunto é EC, o posicionamento das empresas suecas, autoridades públicas, partidos políticos e formadores de opinião revela convergência entre esses atores em nível nacional. Esse cenário, apesar dos conflitos ambientais locais existentes, contribui significativamente com a transição de modelos de economia (linear para circular) (NISKANEN et al., 2020).

O governo sueco aplica regulamentos ambientais rígidos, porém fornece os incentivos necessários para alcançar objetivos de qualidade ambiental, os quais visam uma aplicação mais ampla de tecnologias e políticas que podem ser usadas pelos municípios para melhorar desempenho circular e também fornecem apoio na transferência de conhecimento e recursos para fortalecer os municípios com fraco desempenho. Com isso, cada região deve implementar uma política adaptada à estrutura setorial de sua economia, tornando a EC adaptada às necessidades regionais (HESHMATI; RASHIDGHALAM, 2021).

Hoje, as cidades ou municípios consomem cerca de dois terços da energia global, respondem por cerca de 80% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) e produzem mais de 50% dos resíduos globais. O rápido crescimento da população urbana levou a vários problemas e desafios ambientais, como poluição, escassez de recursos e

limitação do envelhecimento da infraestrutura. As áreas urbanas são frequentemente reconhecidas como motores de crescimento e como locais produtivos para experimentar modos alternativos de prestação de serviços e governança pública. No entanto, se as políticas, práticas e desempenho ambientais das cidades não forem avaliados adequadamente, isso pode facilmente levar a um desenvolvimento insustentável (FRATINI et al., 2019). Por isso, a Suécia deposita atenções em centros urbanos e analisam as questões de circularidade com um olhar político, uma vez que as empresas suecas já ganham destaque mundial em ações de EC (MARINO; PARISO, 2020).

Assim, a Suécia introduziu vários programas de incentivo para a implementação eficaz da CE criando condições ideais para um aumento gradual e efetivo na taxa de reciclagem por meio da educação e da participação do público. A economia de mercado e as inovações de produto e processo também reduziram o uso de materiais e permitiram substituições. Em geral, uma EC é considerada uma estratégia de desenvolvimento que alivia as tensões entre as preocupações ambientais e o desenvolvimento econômico (HESHMATI; RASHIDGHALAM, 2021).

Portanto, a Suécia incorporou partidos políticos verdes em seu processo de tomada de decisão e, por meio do sistema político, tem motivado a transição para uma EC (OCDE, 2014). O desenvolvimento sustentável é definido como o objetivo geral da política do governo e, em 2016, o governo sueco nomeou um investigador especial para EC que teve a função de propor e analisar instrumentos para promover a utilização e reutilização de produtos na redução da geração de resíduos. A investigação levou o governo a criar uma Delegação da Economia Circular em 2018. Sua intenção era facilitar a transição para uma economia baseada na circularidade, eficiente em termos de recursos e de base biológica nos níveis nacional e regional (HESHMATI; RASHIDGHALAM, 2021).

Quanto à Letônia, ainda que o modelo matemático tenha identificado o país como *benchmark* para outros, o seu desempenho da EC está em um estágio inicial de desenvolvimento e os principais gargalos dizem respeito à gestão de resíduos, com problemas na coleta, separação e triagem de materiais, assim como na criação de valor econômico. Também há pouca consciência das partes interessadas sobre a necessidade da transição e a responsabilidade de desenvolver e implementar uma política econômica circular é compartilhada entre várias agências, como o Ministério da Economia, o Ministério da Educação e Ciência e o Ministério da Proteção Ambiental (GRIGORYAN; BORODAVKINA, 2017; MARINO; PARISO, 2020).

Um depósito de lixo próximo a Riga, capital da Letônia, era um obstáculo para a entrada do país na UE. Mas, com a implantação de ações voltadas à redução de externalidades negativas, tornou-se um modelo de uso de recursos e gestão de resíduos que os legisladores do bloco desejam promover (VARAM, 2021).

Para a população local, o novo símbolo do aterro Getlini é o tomate amarelo cultivado com energia renovável gerada a partir do metano produzido pelos resíduos. Além de aproveitar o metano, o local ainda lida com cerca de metade do lixo da Letônia, sela outros poluentes com uma camada de lama e transformou montanhas de lixo em encostas de grama onde ovelhas pastam (VARAM, 2021).

Esse aterro sanitário, chamado Getlini, já empregava em 2015 quase 100 pessoas e gerava uma receita anual de quase 12 milhões de euros, incluindo a venda de eletricidade e mais de 450 toneladas de tomates. Atualmente, existe próximo a ele uma fábrica de reciclagem cuja meta é reaproveitar entre 85% e 90% das 300 toneladas de lixo depositadas no aterro a cada ano. Mas a Letônia ainda tem trabalhado para reduzir a necessidade de aterros (SEPARATE WASTE SYSTEMS, 2015).

A Letônia tem se desenvolvido mais em questões de energia renovável com Planos de Ação Nacional de Energia Renovável (LU et al., 2020). Os resultados da Contribuição relativa deste trabalho também evidenciaram isso. Uma das fontes do biogás, por exemplo, vem do próprio aterro citado anteriormente (VARAM, 2021).

A produção de eletricidade por fontes renováveis representou 51% da produção total de eletricidade em 2014 e, em média, 48% no período 2011-2014 (RUBINS; PILVERE, 2017). O país ganha destaque na participação de energias renováveis no consumo final de energia também devido à disponibilidade de grandes hidrelétricas com potencial energético, levando à participação significativa de energias renováveis na geração de eletricidade (LU et al., 2020).

Com base nas pontuações dos Indicadores de Governança Sustentável de 2018 (SGI), a Letônia recebeu altas classificações com base na eficácia de políticas ambientais, em especial para políticas e medidas que promovem energias renováveis.

Para atingir esse reconhecimento em energia renovável, a Letônia implementou as seguintes políticas e medidas: melhoria do quadro legislativo de apoio à energia renovável; direito de vender eletricidade gerada; reduções fiscais para biocombustíveis; políticas e medidas para aumentar o conhecimento público sobre energia renovável e mitigação das mudanças climáticas; políticas e medidas de apoio à P&D; planejamento

estratégico e metas para energias renováveis; e apoio à implantação de energias renováveis em todos os setores (LU et al., 2020).

Pode-se notar que a maioria das políticas do país é sobre a implementação de metas para energia renovável, estimulando a aceitação social de novas tecnologias de energias renováveis (LU et al., 2020).

A Letônia tem abordado novos caminhos para superar as barreiras de penetração da energias renováveis. O país desistiu de um sistema de certificados verdes que apoiava a energia renovável porque o considerava desequilibrado e iniciou a transição para um leilão reverso, onde os vencedores são ambos, tanto os consumidores devido ao preço mais barato da energia, quanto os produtores de energia renovável, pois podem garantir fluxos de caixa. Isso permite ao país oferecer um preço de eletricidade mais baixo para o mercado (LU et al., 2020).

Por isso, o país tem investido na educação quanto às questões de energia renovável, pois reconhece a importância da que a sociedade desempenha na energia e no uso de recursos. Portanto, considera vital a educação infantil, pois é um dos pilares que influenciam significativamente o planejamento de um "futuro mais limpo" em termos de energia, especialmente por meio da utilização de educação específica para o tema (TSAGARAKIS et al., 2018).

Na Áustria, atividades para o desenvolvimento de uma EC holística são implementadas. Por meio de eventos, desenvolvimento de documentos de referência e materiais de informação, o país centra-se no enquadramento político e jurídico necessário para a transição para uma EC. Uma preocupação da Áustria é promover uma compreensão progressiva da EC, pois o país entende a necessidade de um processo de mudança na sociedade como um todo, que abrange os processos de transformação social e econômica. Nesse sentido, são promovidos intercâmbios entre diversos grupos de *stakeholders* das áreas de meio ambiente, economia e assuntos sociais, assim como representantes da política, ciência e administração, a fim de desenvolver em conjunto soluções voltadas para a EC na Áustria (CIRCULAR FUTURES, 2021).

As famílias austríacas geram aproximadamente 4,3 milhões de toneladas de resíduos a cada ano, dos quais 90% são reciclados. Assim, o país tornou-se referência de inovação na área de gestão de recursos. No entanto, a economia circular não é uma questão relevante apenas no domínio da gestão de resíduos, mas também deve ser tratada ao nível da sociedade. Em março de 2018, com o evento de lançamento da *Circular Economy Platform Áustria*, a EC tem ganhado atenção em novas abordagens. Além do

aumento do ciclo de vida dos produtos por meio da reparabilidade, reuso e reciclagem, o país tem defendido o consumo inteligente. E também tem exigido a criação de novos empregos inovadores neste domínio e já criaram 1.800 empregos na EC.

Como um fator divergente dos resultados da Contribuição Relativa deste trabalho, que colocou as questões de tecnologia ambiental com baixa participação para o IEC do país, a Áustria mostra um alto perfil de EC focado principalmente na inovação ambiental (ou seja, “*Green Tech*” ou “*Clean Tech*”). De fato, o país está orientado para uma melhoria crescente da reciclagem dos resíduos urbanos e para a promoção de iniciativas de apoio à transição de economia. Apesar disso, uma das estratégias de EC austríaca inclui pautas de redução do uso de matéria-prima e produção de resíduos, porque o país ainda está entre os maiores produtores de resíduos. Por isso, o país está focado neste tópico e nas preocupações ambientais, mas negligencia as oportunidades econômicas que podem ser oferecidas pela EC, como desenvolver ações no setor de serviços que representa 63% do PIB nacional (MARINO; PARISO, 2020).

É possível identificar ações repetitivas nestes países que ganham destaque no IEC, em especial os que se destacaram como *benchmarks* pelo modelo RAM. *European Environment Agency* (2016) pontua instrumentos políticos utilizados entre 2001 e 2015 pelos países da Europa que facilitaram e impulsionaram a circularidade almejada. As ações concentram-se em impostos, planos de apoio nacional e regionais, legislações (proibição e obrigatoriedade) e incentivos econômicos. A Áustria, por exemplo, que apresenta todas as ações de incentivo pontuadas pelo *European Environment Agency* (2016) em seu país. Ela apresenta dois ou mais planos nacionais de gestão de resíduos; um aumento dos impostos sobre aterro em mais de 50% a partir de 2001; cobrança de imposto para incineração; proibição de aterro sanitário com resíduos orgânicos ou sólidos municipais não pré tratados; separação obrigatória de bioresíduos; e incentivos econômicos como pagamento pela reciclagem de resíduos sólidos municipais. A Alemanha, por exemplo, possui o maior índice de porcentagem de gestão de resíduos sólidos municipais reciclados por resíduos gerados, assim como Portugal e Suécia, que também apresentam um índice entre os maiores dos países europeus. Entretanto, apenas Alemanha e Suécia apresentam um índice baixo (o mais baixo dos países selecionados) para depósito destes resíduos em aterros. É interessante ressaltar que Alemanha e Suécia não impõem impostos sobre a separação e o aterro de resíduos, porém rebate a situação com leis e obrigatoriedades, um caminho inverso ao de Portugal. Da mesma forma a questão de incentivos econômicos para impulsionar a reciclagem, novamente uma ação

presente apenas na Alemanha e Suécia. A Letônia também apresenta dois ou mais planos nacionais desenvolvidos entre 2001 e 2015 de gestão de resíduos e os impostos sobre aterros aumentou em mais de 50% do ano de 2001 até agora.

Outros países compartilham destes mesmos instrumentos políticos. No entanto, a forma como os instrumentos de política são combinados pode ser mais relevante do que o número total de instrumentos (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016).

5.3 Discussões da Análise de outros países de destaque

Pode-se enfatizar alguns outros países da UE que ganham destaque no IEC e em suas ações quando à EC. A Alemanha (IEC = 1), por exemplo, sendo um país altamente industrializado e membro do G20 e do G7, ela herda a responsabilidade em ser referência aos países da UE e ajudar a alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o que implica em caminhar em direção a uma EC de excelência. Ainda que o país apresente uma gestão de resíduos eficaz, incluindo métodos de coleta, classificação e opções de reutilização, uma mudança para o modelo circular foi necessária porque ele incorpora todos os princípios do DS (LEHMANN et al., 2014).

Em 1994, um modelo de desenvolvimento sustentável foi incorporado à constituição alemã com o objetivo de economizar recursos naturais, proteger o meio ambiente, reduzir a impermeabilização do solo, conservar a diversidade biológica e promover o uso sustentável dos recursos (OGUNMAKINDE, 2019). Além disso, leis especiais de conservação da natureza, energia renovável e regulamentos de economia de energia e lei de informação ambiental forneceram uma base para a mudança em direção à circularidade. Em 1996, o parlamento alemão aprovou a lei sobre EC (SU et al., 2013). Esta lei, de acordo com Geng et al. (2013), visa reduzir a terra para disposição de resíduos com base na hierarquia de eliminação de resíduos e reciclagem em circuito fechado. Ela também transfere a responsabilidade do produto para os produtores, o que significa que seus produtos devem ser projetados para minimizar os resíduos, garantir a recuperação deles e reutilizá-los tanto na produção quanto no uso (OGUNMAKINDE, 2019). Com base nesta política, a Alemanha pode ser referida como o modelo a seguir na recuperação de recursos e em outras ações que promovem o modelo circular.

Diversas leis, políticas e regulamentos foram implementados para garantir a circularidade dos materiais. Por exemplo, todos os aparelhos elétricos e eletrônicos antigos devem ser devolvidos e os produtores são obrigados a aceitá-los gratuitamente a

partir de março de 2006. Da mesma forma, o governo proibiu o despejo em aterros em 2005 com o objetivo de encorajar a eliminação total dos aterros até 2020 e melhorar a reciclagem e a reutilização de resíduos. Como resultado, cerca de 50% dos resíduos são reciclados, enquanto nenhum resíduo municipal foi enviado para aterro para descarte desde 2009. Na implementação das diretrizes da UE, incluindo melhoria do meio ambiente, clima e proteção de recursos, as leis de resíduos e as ações para uma EC foram revisadas e desenvolvidas em 2012 (LEHMANN et al., 2014).

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 a fabricantes e distribuidores de produtos. Com isso, o volume de separação de resíduos aumentou e novas tecnologias de descarte foram introduzidas, aumentando a capacidade de reciclagem. Em 2016, 14% das matérias-primas utilizadas pela indústria alemã eram resíduos recuperados e a gestão de ciclos fechados já contavam com uma participação de aproximadamente 20%, que auxiliam na redução de emissões relevantes para o clima (NELLES et al., 2016).

A Lei alemã de Gestão de Ciclo Fechado também criou a oportunidade de introduzir uma obrigatoriedade, em âmbito nacional. Com este sistema de coleta, traduzido como “Caixa de reciclagem uniforme”, as famílias devem separar adequadamente todo o seu lixo, permitindo que os resíduos domésticos possam ser recolhidos com melhor qualidade e em maiores quantidades. A gestão do ciclo fechado não é apenas uma contribuição para a proteção ambiental, mas também compensa economicamente. A indústria de gerenciamento de resíduos se tornou um setor econômico extenso e poderoso na Alemanha com 200.000 pessoas empregadas em 3.000 empresas que geram um volume de negócios anual de 40 bilhões de euros, aproximadamente. Além disso, 15.000 instalações contribuem para a eficiência dos recursos por meio da reciclagem e procedimentos de recuperação. Assim, a Alemanha desenvolveu altas taxas de reciclagem, como 60% para resíduos municipais (NELLES et al., 2016).

Além disso, desde junho de 2005, os resíduos não podem mais ser depositados em aterro sem pré-tratamento, que ocorre em instalações de incineração ou estações de tratamento mecânico-biológico. O pré-tratamento e a suspensão do aterro sanitário não tratado protegem a saúde e o clima, uma vez que deixam de emitir gás que contém metano e dióxido de carbono, além dos problemas causados às águas subterrâneas. O gás metano de aterro (CH₄) causa 21-25 vezes mais danos ao clima do que o dióxido de carbono (CO₂), causadores do efeito estufa. Portanto, os resíduos devem ser tratados de forma que

não se degradem dentro de um aterro sanitário e as substâncias recuperáveis devem ser separadas antes, assim como a energia advinda dos resíduos, para serem reutilizados (LEHMANN et al., 2014).

O sistema alemão de gestão de resíduos é totalmente financiado por taxas e sem subsídios. Existe um princípio “poluidor-pagador” que significa que o produtor precisa pagar pelo tratamento ou eliminação dos resíduos. *Stakeholders*, principais partes interessadas, estão trabalhando na gestão de resíduos. As empresas municipais de gestão de resíduos são responsáveis por bioresíduos e resíduos domésticos; empresas privadas de gestão de resíduos são responsáveis pela reciclagem de resíduos (resíduos domésticos e comerciais) (NELLES et al., 2016).

Como resultado da combinação de recursos naturais limitados e aumento da demanda global por matérias-primas, usar os recursos naturais de forma eficiente também é um desafio para a economia alemã. O governo, já em 2002, definiu uma meta de dobrar a produtividade da matéria-prima em relação a 1994. O diferencial do país, que tem alavancado suas conquistas e dado destaque quanto ao modelo circular, são as oportunidades oferecidas pelas redes digitais. Ou seja, a Alemanha enxerga as inovações tecnológicas como impulsionadores relevantes para uma EC (NELIGAN, 2018). Esta atribuição da Alemanha para a importância tecnológica pôde ser vista nos resultados da análise da Contribuição Relativa dos *outputs* realizada nesta pesquisa, cuja abordagem “Comércio e Tecnologia” contribuiu com 54,6% para a criação do IEC.

Portugal também apresenta um IEC alto ($IEC = 0,92$), ainda que não atinja a fronteira, e merece atenção. O Plano de Ação para a Economia Circular do país englobou um conjunto de sete ações concretas que deveriam ser cumpridas até 2020, e visavam acelerar esta mudança, mas simultaneamente promover a criação de emprego, o crescimento económico, o investimento e a justiça social (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2021).

O plano de Portugal adotou múltiplas estratégias visando o “fechamento do ciclo” e a criação de valor, em especial no âmbito da reciclagem, da reutilização, da gestão ambiental, da prevenção do desperdício alimentar e da promoção do consumo sustentável (REPÚBLICA PORTUGUESA, 2021).

Uma ação recente do país para a EC é a implementação das abordagens da EC no setor público. Assim, as entidades públicas portuguesas têm a obrigação de proceder uma análise das suas compras, nomeadamente das tipologias mais contratadas, no sentido de planearem de forma sustentável as compras públicas, tornando-as circulares. É neste

contexto, influenciados por outras variáveis, como a educação, a economia, o emprego, o ambiente, entre outras, que a Comunidade Intermunicipal do Tâmega e Sousa os 11 municípios que a integram promovem a sua ação diária, analisando quais os setores que mais influenciam a sua realidade nas compras públicas (TÂMEGAE SOUSA, 2021).

Assim, Portugal identificou áreas-chave para iniciar o desenvolvimento da EC neste setor. Iniciaram com a escolha do produto ou material utilizando materiais recicláveis, não perigosos e/ou reciclados, e pensaram nisso até mesmo na compra de mobiliários. Outra abordagem foi o uso regenerativo de recursos, incentivando a otimização ao longo da vida útil, e especialmente durante a fase de uso, permitindo a reparação, a reutilização, a remanufatura e, finalmente, a reciclagem. A servitização, também conhecida como virtualização, é uma ação importante à EC e pouco desenvolvida em geral, e em Portugal ela substituiu serviços físicos por equivalentes virtuais promovendo a desmaterialização, podendo incluir a utilização de plataformas de partilha e/ou aluguel de equipamentos ou serviços. E, por fim, o design circular, uma preocupação em projetar os produtos para vários ciclos de vida, para serem economicamente viáveis e ecologicamente eficientes, tendo também em consideração o conceito modular, que, pela reparação, permite estender o seu ciclo de vida. Portugal alinou esta ação até mesmo para as empreitadas de serviço (TÂMEGAE SOUSA, 2021).

Portugal também tem apostado na educação e considerando-a como um pilar para a implementação da EC. O trabalho tem sido educar os cidadãos para escolhas ambientalmente conscientes de bens e serviços, sensibilizando a sociedade quanto às consequências de suas escolhas. E o foco desta ação não é apenas em empresas, mas engloba associações, fundações, estabelecimentos de ensino (superior e não superior) e ressalta a importância do auxílio de equipamentos de educação ambiental (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2017; ALONSO-ALMEIDA; RODRÍGUEZ-ANTÓN, 2020).

Assim, o governo português tem apoiado a criação de concursos nacionais de ideias de negócio circulares, dando ênfase em soluções participadas para desafios relacionados com a extensão da vida útil de recursos, desenvolvidas pelos cidadãos e aplicadas ao nível local. Para capacitar a sociedade cada vez mais, os princípios da EC têm sido reforçados nos currículos académicos e nos métodos pedagógicos de modo transversal, ou seja, inclusão de princípios de EC nos conteúdos, complementares a disciplinas de pensamento sistémico, exemplo ecologia industrial. Para isso, foi necessário promover a integração de princípios de EC na formação de agentes (professores, gestores superiores e intermediários, colaboradores da empresa, técnicos do

setor empresarial e financeiro e até na administração pública) (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2017).

O país também tem promovido campanhas de comunicação e iniciativas de reflexão e debate que potencializaram a alteração de comportamento para a redução de desperdício e manutenção de bens e serviços. Em Portugal, existe programas que promovem ações desde o incentivo à reutilização de manuais escolares até um consumo sustentável em questões alimentares (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2017).

Outro país com um IEC alto (IEC = 0,94) é a Eslovênia. O país busca economizar recursos naturais não renováveis com a reciclagem e a reutilização e tem caminhado para se tornar pioneiro em EC na região (CIRCULAR ECONOMY, 2021). Projetado por meio de uma abordagem inclusiva e de múltiplas partes interessadas, ele identifica 4 setores prioritários, tem apoio do governo e identifica as melhores práticas. Foi criado então um Roteiro para a EC que apresenta o chamado “Triângulo Circular”, um modelo que reúne 3 elementos indissociáveis: modelos de negócios da EC, políticas governamentais para gerar a mudança circular e a cultura circular dos próprios cidadãos. Estes são 3 aspectos interdependentes que estão no cerne da mudança sistêmica de um sistema linear para um EC (CIRCULAR ECONOMY, 2021).

Pegando como exemplo o modelo próprio e inovador de gestão de todos os recursos disponíveis no município de Maribor, e na área urbana próxima, para a transição à circularidade. O modelo que fornece uma gestão orientada para o desenvolvimento dos fluxos de recursos baseia-se na operação de empreendimentos públicos que já prestam serviços à comunidade, porém são gargalos que até o momento e não funcionam como elo de ligação, um princípio fundamental na transição de uma economia linear para a circularidade (CIRCULAR ECONOMY, 2021).

Outro exemplo é a cidade *Ljubljana* que foi indicada a capital verde da Europa em 2016. A cidade de *Ljubljana* tornou-se referência na qualidade de vida oferecida e no retorno dos impostos pagos pela população em saúde, educação e segurança, que são estratégias políticas da cidade em prol de ambientes mais sustentáveis com uma alta diminuição dos índices de poluição do ar, sonora e visual (CIRCULAR ECONOMY, 2021). Um projeto já em atuação que contribui para questões como esta é o *Greencycle*. O objetivo é proporcionar uma redução adicional de 2 a 4% nas emissões de gases de efeito estufa (GREENCYCLE, 2021).

A Eslovênia aposta na cooperação estreita entre empresas públicas, cidadãos, indústrias e governo autônomo local para criar um sistema interconectado de sucesso que

otimiza recursos e resultados, tanto econômicos, quanto sociais e ambientais. O conhecido *Triple Bottom Line* (Tripé da Sustentabilidade). Desta forma, a cooperação inter setorial no manuseio, processamento, reutilização e desenvolvimento de recursos é a base do modelo circular do país, formado por 7 pilares ou círculos (CIRCULAR ECONOMY, 2021). O intuito é alcançar o um maior índice de produtividade e conseguir estabelecer 5 novas cadeias de valor relacionadas aos materiais circulares. O foco é energia sustentável, biomassa, matérias-primas alternativas, matérias-primas secundárias, materiais funcionais, processos e tecnologia, e modelos de negócios circulares (ROADMAP SLOVENIA, 2018). A área de enfoque desses modelos de negócios circulares centra-se principalmente no campo tecnológico de processos e redes sustentáveis para o desenvolvimento de uma plataforma aberta para a criação de um ambiente para apoiar a EC, que irá incorporar os mais recentes conhecimentos, métodos e algoritmos e, assim, permitir avaliações abrangentes de eficiência tecnológica, econômica e ambiental e dos impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de produtos, tecnologias, processos, serviços, estratégias e políticas (SRIP CIRCULAR ECONOMY, 2021).

A *Strategic Research and Innovation Partnership* (SRIP) é uma organização estratégica do tipo cluster inter setorial, nascida em 2016, administrada pela Câmara de Comércio e Indústria da região de *Štajerska* da Eslovênia. A Câmara é uma conexão voluntária dentro da comunidade empresarial com o objetivo de maximizar o efeito na formação das condições econômicas que permitirão uma transição para a circularidade, assim como o crescimento, o desenvolvimento e a competitividade mais rápidos (SRIP CIRCULAR ECONOMY, 2021).

Alguns projetos gerenciados pelo SRIP estão impulsionando a Eslovênia para patamares de reconhecimento em EC. *Poly Circularity* é um projeto destinado aos resíduos como fonte de matérias-primas secundárias, visando desenvolver tecnologias inovadoras para a decomposição química e bioquímica de resíduos de embalagens (garrafas plásticas) em matérias-primas secundárias de alta qualidade com valor agregado para uso independente (gases, produtos químicos, óleos / combustíveis, etc.), ou incorporação em novos produtos, como biopolímeros. O projeto tem forte ênfase no aumento da consciência pública sobre o consumo excessivo de plástico e têxteis, bem como novos conceitos de coleta e tratamento de resíduos plásticos / têxteis (EUROPEAN COMMISSION, 2021).

Outro projeto é o *CellCycle* focado no desenvolvimento de materiais avançados e produtos de base biológica com o uso da biomassa. Seu objetivo é ir além da fragmentação para criar novas cadeias de valor baseadas na simbiose industrial, por meio da utilização em cascata da biomassa. Essas ações têm contribuído para a competitividade em importantes setores industriais eslovenos, como produtos químicos, têxteis, papel, processamento de madeira, construção, engenharia, automotivo e energia (EUROPEAN COMMISSION, 2021).

Wcycle também deve ser mencionado. Refere-se a um novo modelo circular de negócios para a cidade de Maribor. O objetivo é fechar laços materiais produzidos na área urbana todos os dias, trazendo benefícios tangíveis para os serviços públicos e cidadãos. Assim, preveem o reaproveitamento de áreas do campo, o reaproveitamento de águas residuais em combinação com a água da chuva, o reaproveitamento de resíduos de construção e o reaproveitamento inovador de bio resíduos juntamente com o solo das obras. Estas ações já podem ser vistas na construção de edifícios de demonstração e trechos de estradas com material de construção reciclado e no uso de resíduos biológicos e minerais urbanos para produzir solo certificado e produzindo alimentos e outras necessidades da cidade (EUROPEAN COMMISSION, 2021).

O país já vivencia consequências positivas destas práticas, como o surgimento de novas oportunidades de negócio, principalmente no município de *Maribor*, a criação de empregos, principalmente os chamados “empregos verdes”, novo valor acrescentado aos produtos e serviços e um novo impulso econômico (CIRCULAR ECONOMY, 2021).

5.4 Discussões da Análise de folga e metas

Quanto aos países que não estão na fronteira, eles precisam de metas para atingi-la, ou seja, o quanto eles precisam melhorar. Assim, complementar a este cenário exposto, a Análise de Folgas, apresentada na Tabela 25, quantifica a distância entre os países *benchmarks* e os demais. Ela permitiu identificar exatamente quais práticas representadas pelos componentes precisam ser melhoradas e desenvolvidas em cada país para atingir a fronteira, ou seja, a eficiência do IEC.

Para as ações de EC relacionadas aos *inputs*, “Emissões e Resíduos Perigosos” apresenta maiores metas, ou seja, necessitam de uma atenção maior em um caminho à circularidade. Quanto aos *outputs*, nitidamente “Energia Renovável” é uma ação propulsora à EC que merece atenção.

O país com menor IEC é Luxemburgo (IEC=0,59). Embora, pela Análise de folgas, não haja melhorias quanto às questões de reciclagem e material circular, todas as demais são passíveis de melhoria. A maior folga, e portanto meta para alcançar IEC igual a 1, é para questões de energia renovável e, logo em seguida, emissões e resíduos perigosos. O país está em destaque num estudo publicado pela Eurostat justamente por ser o membro da UE com menor proporção de energia de fontes renováveis no seu consumo final bruto. Segundo a Eurostat, o país faz parte dos países que estão muito longe dos seus objetivos, que incluem a implementação da circularidade. Somente cerca de 7% da eletricidade consumida no Luxemburgo em 2016 foi proveniente de fontes de energia renováveis, o que representa o segundo valor mais baixo da UE (EUROSTAT, 2016).

Outro país que ganhou um destaque negativo neste relatório da Eurostat é a França. A França, com um IEC também considerado baixo nesta pesquisa (0,71), apresenta um número de usinas de incineração maior do que em qualquer outro país da UE (DONG et al. 2018). Na Análise de folgas, o país ganha destaque em três questões: resíduos, tecnologia e reciclagem. Esses são três pontos que a França precisa desenvolver para alcançar mais rapidamente a circularidade.

A França tem caminhado em busca da EC com foco em consumo, produção, gestão de resíduos, inovação e investimentos. O país tem trabalhado no desenvolvimento de uma lei que contém 50 medidas que preveem novas obrigações (levando em consideração as já existentes), novas proibições e diversas ferramentas (MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021). O país também tem trabalhado na elaboração de leis que preveem a expansão da responsabilidade dos produtores; os fabricantes franceses de embalagens, baterias, medicamentos, pneus, papel, jornal, têxteis, calçados, móveis, eletrodomésticos e alguns outros já são obrigados a financiar o fim de vida desses produtos que geram resíduos, a chamada “responsabilidade estendida do produto”, sendo que a partir de 2021, até no máximo 2024, diversos outros setores também deverão garantir a segunda vida de seus produtos (GALLAUD; LAPERCHÉ, 2016; MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021).

O setor de construção gera 42 milhões de toneladas de resíduos que acabam em lixões ilegais e prejudicam as comunidades ecológica e economicamente. Diante dessa constatação, a França criou medidas que visam melhorar a gestão dos resíduos da construção e combater despejos ilegais (GRAVAGNUOLO et al., 2019). O objetivo da França é abandonar a utilização de plásticos descartáveis e atingir zero uso deles até 2040. A lei anti-resíduos auxilia o engajamento na EC almejando a proibição progressiva de

vários objetos plásticos descartáveis do dia a dia. (GRAVAGNUOLO et al., 2019). Para a criação de empregos dentro desta área de reciclagem e reutilização, os setores industriais e comerciais apoiam financeiramente os atores envolvidos nestes centros de reciclagem e criaram fundos para o chamado “reemprego”. A contribuição será de 5% para vários setores ou 50 milhões de euros no total (NGUYEN, 2021).

Quanto ao desperdício de alimentos, a lei operante desde 2016 na França fez avanços significativos, tornando condenável a destruição voluntária de alimentos ou a falta de acordos de doação (MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021). Outro ponto importante é o fim da eliminação de itens não vendidos. A cada ano, 630 milhões de euros em produtos são destruídos e, portanto, o aterro e a incineração de produtos não alimentares não vendidos serão proibidos por esta lei. ((MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021).

Muitas outras ações são discutidas nesta nova lei, no intuito de melhorar e elevar o nível de circularidade da França. Entre elas, pode-se ainda mencionar a venda unitária de medicamentos conforme a necessidade do paciente, evitando o descarte. Outra ação é a proibição da impressão de recibos de cartão, comprovante de saque e vouchers até 2023 (MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, 2021). Diante todas essas medidas que estão sendo adotadas, espera-se que em breve elas possam gerar impactos positivos e a França possa melhorar bastante sua colocação no ranking do IEC.

Espanha também não apresentou um IEC alto (0,73), quando comparado com os países da UE. O país não apresenta riqueza em recursos naturais, tendo em vista países como Canadá, Austrália, França, Alemanha, Suécia e o Reino Unido, o que torna necessário promover todas as medidas destinadas a melhorar a eficiência na utilização de matérias-primas e energia (ESPAÑA CIRCULAR 2030, 2021). Segundo a Análise de folgas, o maior problema da Espanha também está relacionado com energia renovável, seguido de consumo e resíduos urbanos. O país enfrenta grandes desafios nos âmbitos da gestão de resíduos e a Comissão Europeia pediu que haja mais esforços nesta gestão, onde 55% dos resíduos municipais ainda são depositados em lixões, muito longe dos 28% de média da EU (EUROSTAT, 2017).

Entretanto, a análise abordada neste trabalho refere-se à coeficientes padronizados, pois os componentes principais mencionados já estão normalizados. Por isso, o foco da discussão permaneceu na análise de *Benchmark* e Contribuição relativa, ainda que as Folgas seja um passo do modelo RAM.

5.5 Discussões da Análise Estatística

Schröder et al. (2020) explica que a conexão entre EC e o IDH refere-se a medidas de redução da pobreza e uso sustentável dos recursos e da natureza. Neumayer (2012) enfatiza a multidimensionalidade do IDH: desenvolvimento, educação e saúde junto com liberdade de escolha, e associa o desenvolvimento humano com sustentabilidade. Androniceanu et al. (2021) também trabalha para identificar uma relação positiva entre o desenvolvimento humano e a circularidade dos países da UE. Porém, os resultados desta pesquisa não conseguiram encontrar uma relação comprovada estatisticamente entre a EC e o DH.

Assim, embora a literatura traga algumas relações sobre DH e questões ambientais, conforme apresentado na Seção 2.4.3, os resultados desta pesquisa não corroboraram com tais afirmações para os países da UE. Exceto quanto à desigualdade de educação. Essa foi a única relação estatisticamente comprovada e explicada pelos modelos matemáticos.

Desigualdade de educação e EC apresentam uma relação inversamente proporcional e muitos países da EU, mencionados nas discussões anteriores, demonstram preocupação e ações em desenvolvimento nesta direção.

Rokicki et al. (2020) afirma que o grau de concentração da educação nas áreas da EC na UE estão relacionadas positivamente, e os autores abrangem todos os Estados-Membros da UE no período de 2013 a 2018. Juntamente com a maior qualidade da educação, foi observada a importância atribuída à EC. Áustria ganhou destaque nesta relação positiva entre as áreas citadas.

Assim, é possível afirmar que a implementação dos pressupostos e o cumprimento dos parâmetros da EC depende, em grande parte, da educação geral, mas também da educação especializada. Espera-se que a circularidade da economia de um país seja maior nos locais onde haja menores desigualdades educacionais e sociais (NOWOTNY et al., 2018).

Porém, é necessário mudanças nas formas de ensino dominantes nesta área. Apesar da crescente base de literatura relacionada à EC, a reflexão acadêmica sobre a educação voltada à EC é atualmente limitada (WHALEN et al., 2018). Por isso, governos estão trabalhando no âmbito da educação, geral e especializada, para desenvolver uma sociedade que pense de forma holística sobre o contexto atual, que inclui questões de EC. Assim, a educação está voltando suas diretrizes para a importância de adotar

estratégias, incluindo conceitos de EC, para enfrentar os desafios, como por exemplo da fonte de recursos, permitindo que a sociedade reflita sobre como suas próprias ações e habilidades para se tornar um ator e desempenhar esse papel (WHALEN et al., 2018).

No entanto, mesmo com esse interesse claro e crescente na educação pela EC, poucos estudos refletiram sobre como abordar e incorporar os conceitos da EC na educação. Alguns países, como a Suécia, estão adotando estratégias de utilizar jogos nas universidades que consigam introduzir este conceito de forma mais profunda (WHALEN et al., 2018).

Assim, os alunos são treinados para abordar as questões complexas do século XXI por meio da adoção de uma perspectiva mais ampla, deixando para trás o modelo tradicional de ensino orientado à análise com foco nas respostas "certas" (GATTIE et al., 2011). A aprendizagem experiencial relacionada à realidade e encorajamento ao pensamento holístico (caracterizado pelo pensamento crítico e sistêmico) são o caminho para iniciar conceitos e prática da EC mais cedo (WHALEN et al., 2018).

É sabido que a correlação entre EC e DH desta pesquisa foi exploratória. Existem outras variáveis que podem explicar a EC, e não apenas o DH. Entretanto, não foram utilizadas e isso pode ter ocasionado um viés de especificação, ou seja, a omissão destas outras variáveis podem ter causado um erro na definição das correlações entre EC e DH.

6. CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de um índice que classifique os países quanto às abordagens da EC, chamado IEC, e correlacioná-lo com indicadores de DH.

No desenvolvimento do IEC encontrou-se algumas limitações, mas que não impediram a criação do mesmo. Pode-se mencionar, primeiramente, a não existência consolidada de indicadores macros para questões da EC; além disso, o número restrito de países que gerenciam estes dados e compartilham em relatórios universalmente reconhecidos; e a disponibilidade destas métricas em anos mais recentes. Diante disso, o IEC desenvolvido nesta pesquisa refere-se aos países da UE com referência de valores de 2015.

Portanto, são necessárias melhorias nos dados dos indicadores obtidos e talvez até uma harmonização nos métodos que os relatórios utilizam, uma vez que as incertezas relacionadas com a comparabilidade dos dados também são uma barreira à avaliação do progresso e da eficácia da EC. Por exemplo, existem diferenças nas definições de resíduos municipais, tipos de resíduos relatados e processamento de dados. Alguns países incluem apenas resíduos domésticos, enquanto outros incluem resíduos semelhantes de atividades comerciais e escritórios. Outra questão pode ser quanto às quantidades recicladas pelos países que também podem ser calculadas de forma diferente.

Ou seja, a comparabilidade dos dados e indicadores disponíveis dos países é limitada. No entanto, os dados usados nesta pesquisa são atualmente os melhores disponíveis.

Em geral, todos os países da UE apresentam IEC altos. Muitos deles estão na fronteira e ganham destaque no desempenho de uma EC. São eles: Alemanha, Áustria, Estônia, Letônia e Suécia. Eslovênia, Finlândia, Lituânia e Portugal apresentem um IEC muito alto (em torno de 0,9). Os demais países ficam em, aproximadamente, 0,7 e 0,8. O país com menor índice (0,59) foi Luxemburgo.

O ineditismo do tema e a limitação no fornecimento de dados trouxe duas situações importantes para este estudo. A primeira delas refere-se aos resultados com limitações estatísticas e, a segunda, a importância da criação deste índice, levando em consideração sua inovação e as análises que o mesmo permitiu.

Uma destas análises refere-se à identificação de questões da EC mais desenvolvidas pelos países da UE (Reciclagem, Gestão de Resíduos e Circularidade dos

materiais). Outra discussão está relacionada às metas que cada país deve despender mais atenção para o desenvolvimento rumo à EC, dando prioridade à Energia Renovável, Tecnologias ambientais e questões relacionadas às Emissões e resíduos perigosos. E, por fim, a identificação de países que servem como *benchmark* (Áustria, Letônia e Suécia) para os demais da UE rumo à um IEC igual a 1, que condiz com uma EC mais eficiente.

Com este IEC criado, foi possível analisar e identificar relações entre EC e DH, utilizando os indicadores compostos do RDH. Entretanto, apenas uma relação foi significativa estatisticamente e pôde ser concluída: Desigualdade na educação e EC. Na própria literatura, como em órgãos governamentais europeus, foi possível identificar que os países da UE têm trabalhado no desenvolvimento desta relação porque identificaram nela um caminho eficiente para a implementação da EC, principalmente em uma abordagem macro.

Outra limitação desta pesquisa está relacionada com a correlação entre EC e DH. A análise desenvolvida neste momento foi apenas algo inicial e exploratório. A omissão de variáveis de controle que também podem explicar a EC, assim como a não utilização de análises de endogeneidade e não linearidade, pode ter ocasionado um viés de especificação. Assim, recomenda-se uma análise estatística mais completa para a identificação objetiva e assertiva destas correlações entre as temáticas.

Portanto, as contribuições desta pesquisa serão pertinentes em três frentes: acadêmica, social e gerencial.

No âmbito acadêmico, a criação de um índice que mensure a circularidade dos países, algo inexistente até o momento. Com este IEC, outras correlações podem ser identificadas, abordando temáticas diferentes do DH, como justiça climática, economia institucional, investimento estrangeiro, entre outras. Estas novas relações, a partir da construção deste índice, permite novas descobertas acadêmicas e caminhos para o desenvolvimento.

No âmbito social, os resultados desta tese permitem a aproximação da sociedade com o tema e identifica a educação como um canal para o aprofundamento e disseminação do tema EC. Além disso, propõe métodos mais modernos e identificados como eficientes para abordar o tema de EC no âmbito educacional.

No âmbito gerencial, o índice ajudará a desenvolver padrões ambientais eficazes que auxiliará na formulação de futuros programas de desenvolvimento da EC ajudando os países, ou até mesmo menores regiões, a reconhecerem as barreiras ao

desenvolvimento local da EC em uma abordagem macro, ajudando-os a formular políticas adequadas considerando suas realidades ambientais locais.

Assim, recomenda-se como desenvolvimento de futuras pesquisas (a) a inclusão de outros indicadores com abordagem macro da EC ao IEC para refinar o desenvolvimento deste índice; (b) a busca por dados mais atuais, assim como a inclusão de outros países além da UE, dado que a EC realmente ganhou aderência destes países em 2018 (ROKICKI et al., 2020), porém eles ainda não estão gerenciando indicadores mais direcionados a abordagem macro da EC e não apresentaram dados mais recentes.

REFERÊNCIAS

- ACERBI, F.; TAISCH, M. A literature review on circular economy adoption in the manufacturing sector. **Journal of Cleaner Production**, 123086, 2020.
- ALONSO-ALMEIDA, María del Mar; RODRÍGUEZ-ANTÓN, José Miguel. The role of institutional engagement at the macro level in pushing the circular economy in Spain and its Regions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 6, p. 2086, 2020.
- ANDREWS, Deborah. The circular economy, design thinking and education for sustainability. **Local Economy**, v. 30, n. 3, p. 305-315, 2015.
- ANDRONICEANU, Armenia; KINNUNEN, Jani; GEORGESCU, Irina. Circular economy as a strategic option to promote sustainable economic growth and effective human development. **Journal of International Studies**, v. 14, n. 1, 2021.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- ATKINSON, Rowland; FLINT, John. Accessing hidden and hard-to-reach populations: Snowball research strategies. **Social research update**, v. 33, n. 1, p. 1-4, 2001.
- ÁVILA-GUTIÉRREZ, María Jesús et al. Standardization framework for sustainability from circular economy 4.0. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6490, 2019.
- BANAITÉ, Daiva. Towards circular economy: analysis of indicators in the context of sustainable development. **Social Transformation in Contemporary Society**, v. 4, n. 9, p. 142-150, 2016.
- BALLET, Jérôme et al. A note on sustainability economics and the capability approach. **Ecological Economics**, v. 70, n. 11, p. 1831, 2011.
- BALLET, Jérôme et al. Environment, justice and the capability approach. **Ecological Economics**, v. 85, p. 28-34, 2013.
- BIBLIOMETRIX. **An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. Disponível em: <http://www.bibliometrix.org/papers.html>. Acessado em: 22 de março de 2019.
- BIRKIN, Frank; POLESIE, Thomas. The relevance of epistemic analysis to sustainability economics and the capability approach. **Ecological Economics**, v. 89, p. 144-152, 2013.
- BLOMSMA, Fenna; BRENNAN, Geraldine. The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603-614, 2017.
- BOCKEN, Nancy MP et al. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of cleaner production**, v. 65, p. 42-56, 2014.
- BOCKEN, Nancy MP et al. Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.
- BROWN, Mark T.; ULGIATI, Sergio. Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. **Ecological Modelling**, v. 223, n. 1, p. 4-13, 2011.

BRZEZINSKI, Michal. Power laws in citation distributions: evidence from Scopus. **Scientometrics**, v. 103, n. 1, p. 213–228, 2015.

CECCONET, Daniele et al. Agro-food industry wastewater treatment with microbial fuel cells: Energetic recovery issues. **International Journal Hydrogen Energy**, 2017.

CHENG, Hao et al. A circular economy system for breaking the development dilemma of ‘ecological Fragility–Economic poverty’ vicious circle: A CEEPS-SD analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 381-392, 2019.

CIRCULAR ECONOMY. **Circular economy – Strategy for the transition in Sweden**. Disponível em: <https://www.government.se/4ad42c/contentassets/d5ab250cf59a47b38feb8239eca1f6ab/circular-economy--strategy-for-the-transition-in-sweden>. Acessada em 30 de junho de 2021.

CHRISTOU, Anastasis et al. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: the knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes—a review. **Water research**, v. 123, p. 448-467, 2017.

CIRCULAR FUTURES. **About Circular Futures - Circular Economy Platform Austria**. Disponível em: <https://www.circularfutures.at/ueber-uns/english-language-summary/>. Acessado em 03 de julho de 2021.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Economia Circular: o uso eficiente dos recursos**. 2018. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/b5/9f/b59fe927-be16-4bee-9fff-47c2e8c2c61f/12_-_economia_circular.pdf. Acessado em: 29 de março de 2019.

COSTELLO, Anthony et al. Managing the health effects of climate change: lancet and University College London Institute for Global Health Commission. **The Lancet**, v. 373, n. 9676, p. 1693-1733, 2009.

CULLEN, Jonathan. Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? 2017.

CURRIE, Janet; MORETTI, Enrico. Mother's education and the intergenerational transmission of human capital: Evidence from college openings. **The Quarterly journal of economics**, v. 118, n. 4, p. 1495-1532, 2003.

D'AMATO, Dalia et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 716-734, 2017.

DE LOS RIOS, Irel Carolina; CHARNLEY, Fiona JS. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. **Journal of Cleaner Production**, v. 160, p. 109-122, 2017.

DEMALS, Thierry; HYARD, Alexandra. Is Amartya Sen's sustainable freedom a broader vision of sustainability?. **Ecological economics**, v. 102, p. 33-38, 2014.

DENEULIN, Séverine; MCGREGOR, J. Allister. The capability approach and the politics of a social conception of wellbeing. **European Journal of Social Theory**, v. 13, n. 4, p. 501-519, 2010.

DESPEISSE, Mélanie et al. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 115, p. 75-84, 2017.

DIÁRIO DA REPÚBLICA. 2017. Disponível em: <https://dre.pt/application/conteudo/114337039>. Acessado em: 02 de julho de 2020.

DILLI, Selin; CARMICHAEL, Sarah G.; RIJPMAN, Auke. Introducing the historical gender equality index. **Feminist Economics**, v. 25, n. 1, p. 31-57, 2019.

DOLLAR, David; FISMAN, Raymond; GATTI, Roberta. Are women really the “fairer” sex? Corruption and women in government. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 46, n. 4, p. 423-429, 2001.

DONG, L.; HONG, Li; DI, Wang. Economic and environmental gains of China's fossil energy subsidies reform: A rebound effect case study with EIMO model. **Energy Policy**, v. 54, p. 335-342, 2013.

DONG, Jun et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 287-300, 2018.

DREZE, Jean et al. India: Economic development and social opportunity. **OUP Catalogue**, 1999.

EASAC - EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL. **Indicators for a Circular Economy**; EASAC Policy Report 30; European Academies Science Advisory Council: Halle, Germany, 2016.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2011. **Survey of Resource Efficiency Policies in EEA Member and Cooperating Countries - COUNTRY PROFILE: Sweden. Country Information on Resource Efficiency Policies, Instruments, Objectives, Targets and Indicators, Institutional Setup and Information Needs**. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/themes/waste/resource-efficiency/resource-efficiency>. Acessado em: 02 de julho de 2021.

_____. **Circular Economy in Europe - Developing the Knowledge Base**. EEA Report No 2/2016.

_____. 2017. **Circular by Design - Products in the Circular Economy**. Disponível em: <https://doi.org/10.2800/860754>. Acessado em: 08 de janeiro de 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the Circular Economy**. 2013.

_____. **Delivering the Circular Economy: A toolkit for policymakers**. 2015.

_____. **Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe**. 2016.

_____. **Uma economia circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. Acesso em: 14 de junho de 2017a.

_____. **Economia Circular.** Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular-1/principios-1>. Acesso em: 14 de junho de 2017b.

ELSEVIER. **Journal of Cleaner Production: View editorial board.** Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>). Acessado em: 08 de abril de 2019.

ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741-2751, 2017.

ERIKSSON, M. et al. Take-back agreements in the perspective of food waste generation at the supplier-retailer interface. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 83-93, 2017.

ESPAÑA CIRCULAR 2030. Disponível em: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/espanacircular2030_def1_tcm30-509532.PDF. Acessada em 30 de junho de 2021.

ESPOSITO, M.; TSE, T.; SOUFANI, K. Call for papers California management review (CMR) - **Special Section on Circular Economy: Managerial and Policy Implications**, 2015.

EUROPOEAN COMMISSION. **Towards a Circular Economy: a Zero Waste Programme for Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.** European Commission, Brussels, 2014.

_____. 2015. **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Closing the Loop: An EU Action Plan for the Circular Economy.** 2015. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>. Acessado em: 17 de janeiro de 2018

_____. **Strategic Research and Innovation Partnership on Circular Economy.** Disponível em: <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/en-US/w/strategic-research-and-innovation-partnership-on-circular-economy>. Acessado em: 30 de junho de 2021.

EUROPEAN BIOENERGY DAY. **Curing a gas addiction thanks to local biomass.** Disponível em: <http://www.europeanbioenergyday.eu/curing-a-gas-addiction-thanks-to-local-biomass-2/>. Acessado em: 30 de junho de 2021.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. 2016. **Municipal waste management across European countries.** Disponível em: https://www.eea.europa.eu/publications/municipal-waste-management-across-european-countries/copy_of_municipal-waste-management-across-european-countries. Acessado em: 29 de junho de 2021.

EUROPEAN PARLIAMENT. 2020. **Waste management in the EU: infographic with facts and figures.** Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/priorities/circular-economy/20180328STO00751/eu-waste-management-infographic-with-facts-and-figures>. Acessado em: 28 de junho de 2021.

_____. 2021. **How the EU wants to achieve a circular economy by 2050.** Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/priorities/circular-economy/20210128STO96607/how-the-eu-wants-to-achieve-a-circular-economy-by-2050>. Acessado em: 28 de junho de 2021.

EUROSTAT – EUROPEAN STATISTICAL. 2015. **Environment in the EU.** Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/6757479/8-26032015-AP-EN.pdf/a2982b86-9d56-401c-8443-ec5b08e543cc>. Acessado em: 07 de junho de 2020.

_____. 2016. **30% of electricity generated from renewable sources.** Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20180921-1?inheritRedirect=true&redirect=%2Feurostat%2F>. Acessado em: 08 de julho de 2021.

_____. 2017. **Sustainable development in the European Union: Monitoring report on progress towards the sdgs in an eu contexto.** Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8461633/KS-04-17-780-EN-N.pdf/f7694981-6190-46fb-99d6-d092ce04083f>. Acessado em: 08 de julho de 2021.

_____. - EUROPEAN STATISTICAL. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>. Acessado em: 05 de maio de 2020.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acessado em: 29 de abril de 2020.

FRATINI, Chiara Farné; GEORG, Susse; JØRGENSEN, Michael Søgaaard. Exploring circular economy imaginaries in European cities: A research agenda for the governance of urban sustainability transitions. **Journal of cleaner production**, v. 228, p. 974-989, 2019.

FUKUDA-PARR, Sakiko. The human development paradigm: operationalizing Sen's ideas on capabilities. **Feminist economics**, v. 9, n. 2-3, p. 301-317, 2003.

FURLAN, M.; MARIANO, E. Guiding the nations through fair low-carbon economy cycles: A climate justice index proposal. **Ecological Indicators**, 125, 107615, 2021.

GALLAUD, Delphine; LAPERCHÉ, Blandine. **Circular economy, industrial ecology and short supply chain.** John Wiley & Sons, 2016.

GATTIE, David K. et al. Engineering education as a complex system. **European Journal of Engineering Education**, v. 36, n. 6, p. 521-535, 2011.

GEERKEN, Theo et al. Assessment of the potential of a circular economy in open economies – Case of Belgium. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 683-699, 2019.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy–A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GENG, Yong; DOBERSTEIN, Brent. 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.

GENG, Yong et al. Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of cleaner production**, v. 23, n. 1, p. 216-224, 2012.

GENG, Yong et al. Measuring China's circular economy. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1526-1527, 2013.

GENG, Yong; SARKIS, Joseph; ULGIATI, Sergio. Sustainability, well-being, and the circular economy in China and worldwide. *Science*, v. 6278, n. **Supplement**, p. 73-76, 2016.

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.

GIANNETTI, Biagio F. et al. Multicriteria cost-benefit assessment of tannery production: The need for breakthrough process alternatives beyond conventional technology optimization. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 22-38, 2015.

GOR, Seth Omondi; GITAU, Ciliaka Millicent Wanjiru. Rethinking the HDI: a more theoretically consistent alternative. **International Journal of Sustainable Development**, v. 1, n. 05, p. 85-90, 2010.

GRAEDEL, Thomas E. et al. What do we know about metal recycling rates?. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 3, p. 355-366, 2011.

GRAVAGNUOLO, Antonia; ANGRISANO, Mariarosaria; FUSCO GIRARD, Luigi. Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework. **Sustainability**, v. 11, n. 13, p. 3512, 2019.

GREENCYCLE. **Introducing circular economy system to Alpine Space to achieve low-carbon targets.** Disponível em: <https://www.alpine-space.eu/projects/greencycle/en/home>. Acessado em: 20 de junho de 2021.

GREEN HYDROGEN. **Lithuanian Ministry of Energy to spearhead national hydrogen development.** Disponível em: <https://www.h2-view.com/story/lithuanian-ministry-of-energy-to-spearhead-national-hydrogen-development/>. Acessado em: 30 de junho de 2021.

GREY, C. P.; TARASCON, J. M. Sustainability and in situ monitoring in battery development. **Nature materials**, v. 16, n. 1, p. 45-56, 2017.

GRIGORYAN, Anet A.; BORODAVKINA, N. Yu. The Baltics on their way towards a circular economy. **Baltic Region**, v. 9, n. 3, p. 4-14, 2017

GUTIERREZ, Kristie; LEPREVOST, Catherine. Climate justice in rural southeastern United States: a review of climate change impacts and effects on human health. **International journal of environmental research and public health**, v. 13, n. 2, p. 189, 2016.

HAIR, Joseph F. et al. **Análise multivariada de dados**. Bookman editora, 2009.

HARZING, Anne-Wil; ALAKANGAS, Satu. Google Scholar, Scopus and the Web of Science: a longitudinal and cross-disciplinary comparison. **Scientometrics**, v. 106, n. 2, p. 787-804, 2016.

HELANDER, Hanna et al. How to monitor environmental pressures of a circular economy: An assessment of indicators. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 5, p. 1278-1291, 2019.

HESHMATI, A. 2015. **A Review of the Circular Economy and its Implementation**. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/130297/1/dp9611.pdf>. Acessado em: 16 de janeiro de 2019.

HESHMATI, Almas; RASHIDGHALAM, Masoomah. Assessment of the urban circular economy in Sweden. **Journal of Cleaner Production**, v. 310, p. 127475, 2021.

HEYDARI, Chiman; OMRANI, Hashem; TAGHIZADEH, Rahim. A fully fuzzy network DEA-Range Adjusted Measure model for evaluating airlines efficiency: A case of Iran. **Journal of Air Transport Management**, v. 89, p. 101923, 2020.

HOMRICH, Aline Sacchi et al. The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 525-543, 2018.

HOPKINSON, Peter et al. Managing a complex global circular economy business model: opportunities and challenges. **California Management Review**, v. 60, n. 3, p. 71-94, 2018.

HUAMAO, Xiao; FENGQI, Wang. Circular economy development mode based on system theory. Chinese **Journal of Population Resources and Environment**, v. 5, n. 4, p. 92-96, 2007.

HUBBARD, Graham. Measuring organizational performance: beyond the triple bottom line. **Business strategy and the environment**, v. 18, n. 3, p. 177-191, 2009.

ILES, JOE. 2018. **Which country is leading the Circular Economy shift?** Disponível em: <https://circulatenews.org/2018/07/which-country-is-leading-the-circular-economy-shift/>. Acessado em: 04 de janeiro de 2019.

JABBOUR, Charbel José Chiappetta. Environmental training in organisations: From a literature review to a framework for future research. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 74, p. 144-155, 2013.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta et al. Who is in charge? A review and a research agenda on the 'human side' of the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, 2019.

JANSSENS, Lise; KUPPENS, Tom; VAN SCHOUBROECK, Sophie. Competences of the professional of the future in the circular economy: Evidence from the case of Limburg, Belgium. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 125365, 2021.

KAISER, Henry F. An index of factorial simplicity. **Psychometrika**, v. 39, n. 1, p. 31-36, 1974.

KALMYKOVA, Yuliya; SADAGOPAN, Madumita; ROSADO, Leonardo. Circular economy–From review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 190-201, 2018.

KLASEN, Stephan; LAMANNA, Francesca. The impact of gender inequality in education and employment on economic growth: new evidence for a panel of countries. **Feminist economics**, v. 15, n. 3, p. 91-132, 2009.

- KOOP, Steven HA et al. The challenges of water, waste and climate change in cities. **Environment, development and sustainability**, v. 19, n. 2, p. 385-418, 2017.
- LAGE JUNIOR, Muris et al. Variations of the kanban system: Literature review and classification. **International Journal of Production Economics**, v. 125, n. 1, p. 13-21, 2010.
- LAINEZ, Manuel et al. Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation. **New biotechnology**, 2017.
- LEHMANN, M. et al. Circular economy. Improving the management of natural resources. In: **World Resources Forum: Bern, Switzerland**, 2014.
- LESSMANN, Otrud. Sustainability as a challenge to the capability approach. **Sustainable development: Capabilities, needs, and well-being**, p. 43-61, 2011.
- LEWANDOWSKI, Mateusz. Designing the business models for circular economy Towards the conceptual framework. **Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 43, 2016.
- LI, Huiquan et al. Energy conservation and circular economy in China's process industries. **Energy**, v. 35, n. 11, p. 4273-4281, 2010.
- LI, Nan; ZHANG, Tianzhu; LIANG, Sai. Reutilisation-extended material flows and circular economy in China. **Waste Management**, v. 33, n. 6, p. 1552-1560, 2013.
- LINDER, Marcus; WILLIANDER, Mats. Circular business model innovation: inherent uncertainties. **Business strategy and the environment**, v. 26, n. 2, p. 182-196, 2017.
- LU, Chenyu et al. An overview of e-waste management in China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 17, n. 1, p. 1-12, 2014.
- LU, Jintao et al. Renewable energy barriers and coping strategies: Evidence from the Baltic States. **Sustainable Development**, v. 28, n. 1, p. 352-367, 2020.
- MAINA, Sofia; KACHRIMANIDOU, Vasiliki; KOUTINAS, Apostolis. A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 8, p. 18-23, 2017.
- MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: foco na decisão**. 2011.
- MARIANO, Enzo Barberio; SOBREIRO, Vinicius Amorim; DO NASCIMENTO REBELATTO, Daisy Aparecida. Human development and data envelopment analysis: A structured literature review. **Omega**, v. 54, p. 33-49, 2015.
- MARIANO, Enzo Barberio. **Progresso e Desenvolvimento Humano: Teorias e indicadores de riqueza, qualidade de vida, felicidade e desigualdade**. Alta Books, 2019.
- MARINO, Alfonso; PARISO, Paolo. Comparing European countries' performances in the transition towards the Circular Economy. **Science of the Total Environment**, v. 729, p. 138142, 2020.
- MARTINS, Nuno. Sustainability economics, ontology and the capability approach. **Ecological Economics**, v. 72, p. 1-4, 2011.

- MARTINS, Nuno O. The place of the capability approach within sustainability economics. **Ecological economics**, v. 95, p. 226-230, 2013.
- MARTINS, Nuno Ornelas. Ecosystems, strong sustainability and the classical circular economy. **Ecological economics**, v. 129, p. 32-39, 2016.
- MARTINS, Nuno Ornelas. The Classical Circular Economy, Sraffian Ecological Economics and the Capabilities Approach. **Ecological economics**, v. 145, p. 38-45, 2018.
- MATHEWS, John A. Naturalizing capitalism: the next great transformation. **Futures**, v. 43, n. 8, p. 868-879, 2011.
- MCALOONE, T. C.; PIGOSSO, D. C. A. From Ecodesign to Sustainable Product/Service-Systems: A Journey Through Research Contributions over Recent Decades. In: **Sustainable Manufacturing**. Springer International Publishing, p. 99-111, 2017.
- MCDONOUGH, William et al. Peer reviewed: Applying the principles of green engineering to cradle-to-cradle design. **Environmental science & technology**, v. 37, n. 23, p. 434A-441A, 2003.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE. 2021. **La loi anti-gaspillage pour une économie circulaire: les mesures phares**. Disponível em: <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-anti-gaspillage>. Acessado em: 10 de junho de 2021.
- MINISTRY OF ENERGY OF THE REPUBLIC OF LITHUANIA. Disponível em: <https://enmin.lrv.lt/en/>. Acessado em: 30 de junho de 2021.
- MIRATA, Murat; EMTAIRAH, Tareq. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme. **Journal of cleaner production**, v. 13, n. 10-11, p. 993-1002, 2005.
- MITRA, S. The capability approach and disability. **Journal of Disability Policy Studies**, v. 16, n. 4, p. 236-247, 2006.
- MODESTINO, Alicia Sasser; PAULSEN, Richard J. Reducing inequality summer by summer: Lessons from an evaluation of the Boston Summer Youth Employment Program. **Evaluation and program planning**, v. 72, p. 40-53, 2019.
- MONTGOMERY, Douglas C.; PECK, Elizabeth A.; VINING, G. Geoffrey. Introduction to linear regression analysis. **John Wiley & Sons**, 2012.
- MORAGA, Gustavo et al. Circular economy indicators: What do they measure?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 146, p. 452-461, 2019.
- MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.
- NAKAJIMA, Nina. A vision of industrial ecology: State-of-the-art practices for a circular and service-based economy. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 20, n. 1, p. 54-69, 2000.
- NAUSTDALSLID, Jon. Circular economy in China—the environmental dimension of the harmonious society. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 4, p. 303-313, 2014.

NELLES, Michael; GRUENES, Jennifer; MORSCHECK, Gert. Gestão de resíduos na Alemanha - desenvolvimento para uma economia circular sustentável ?. **Procedia Environmental Sciences** , v. 35, p. 14 de junho de 2016.

NELIGAN, Adriana. Digitalisation as enabler towards a sustainable circular economy in Germany. **Intereconomics**, v. 53, n. 2, p. 101-106, 2018.

NESS, David. Sustainable urban infrastructure in China: Towards a Factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure systems. **The International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, n. 4, p. 288-301, 2008.

NEUMAYER, Eric. Human development and sustainability. *Journal of Human Development and Capabilities*, v. 13, n. 4, p. 561-579, 2012.

NGUYEN, Thi Viet Ha. Circular economy and waste recycling-review, challenges and opportunities in Vietnam and France. 2019. **Circular Economy**, 2021.

NIKOLAOU, Ioannis E.; EVANGELINOS, Konstantinos I.; ALLAN, S. A reverse logistics social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 56, p. 173-184, 2013.

NISKANEN, Johan; ANSHELM, Jonas; MCLAREN, Duncan. Local conflicts and national consensus: The strange case of circular economy in Sweden. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, p. 121117, 2020.

NORMAN, Wayne; MACDONALD, Chris. Getting to the bottom of “triple bottom line”. **Business ethics quarterly**, v. 14, n. 2, p. 243-262, 2004.

NOWOTNY, Janusz et al. Towards global sustainability: Education on environmentally clean energy technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 2541-2551, 2018.

OECD - THE ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. 2014. **Green Growth Indicators 2014. OECD Green Growth Studies**. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/green-growth-indicators-2013_9789264202030-en. Acessado em: 02 de julho de 2021.

_____. Disponível em: https://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?datasetcode=GREEN_GROWTH&lang=en. Acessado em: 15 de maio de 2020.

OGUNMAKINDE, Olabode Emmanuel. A review of circular economy development models in China, Germany and Japan. **Recycling**, v. 4, n. 3, p. 27, 2019.

O'NEILL, Sadhbh. Clare Heyward and Dominic Roser (eds): Climate Justice in a Non-Ideal World. **Ethical Theory and Moral Practice**, v. 20, n. 3, p. 685-687, 2017.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. 2017. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2017/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017.pdf>. Acessado em: 01 de fevereiro de 2019.

_____. – **Organização das Nações Unidas. Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/tema/agenda2030/>. Acessado em: 20 de janeiro de 2019.

PAINTER-MORLAND, Mollie. Triple bottom-line reporting as social grammar: integrating corporate social responsibility and corporate codes of conduct. **Business ethics: a European review**, v. 15, n. 4, p. 352-364, 2006.

PAN, Shu-Yuan et al. CO₂ Mineralization and Utilization using Steel Slag for Establishing a Waste-to-Resource Supply Chain. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 17227, 2017.

PARK, Jacob et al. Creating integrated business and environmental value within the context of China's circular economy and ecological modernization. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 15, p. 1494-1501, 2010.

PELENC, Jérôme et al. Sustainable human development and the capability approach: Integrating environment, responsibility and collective agency. **Journal of Human Development and Capabilities**, v. 14, n. 1, p. 77-94, 2013.

PELENC, Jérôme; BALLEST, Jérôme. Strong sustainability, critical natural capital and the capability approach. **Ecological Economics**, v. 112, p. 36-44, 2015.

PETERS, Glen P. et al. China's growing CO₂ emissions a race between increasing consumption and efficiency gains. **Environmental Science & Technology**, 2007.

PETIT-BOIX, Anna; LEIPOLD, Sina. Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1270-1281, 2018.

PINTÉR, László. International experience in establishing indicators for the circular economy and considerations for China. **Report for the World Bank**, 2006.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **O que é Desenvolvimento Humano**. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/o-que-e-desenvolvimento-humano.html>. Acessado em: 01 de março de 2019a.

_____. **O que é o RDH**. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/o-que-e-o-rdh.html>. Acessado em: 03 de março de 2019b.

_____. **O que é o IDH**. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/o-que-e-o-idh.html>. Acessado em: 03 de março de 2019c.

_____. **UNDP Annual Report 2018**. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/>. Acessado em: 17 de maio de 2020.

POLISHCHUK, Yuliana; RAUSCHMAYER, Felix. Beyond “benefits”? Looking at ecosystem services through the capability approach. **Ecological Economics**, v. 81, p. 103-111, 2012.

RASHID, Amir et al. Resource Conservative Manufacturing: an essential change in business and technology paradigm for sustainable manufacturing. **Journal of Cleaner production**, v. 57, p. 166-177, 2013.

RDH - **HUMAN DEVELOPMENT REPORT**. 2016. Disponível em: http://hdr.undp.org/sites/default/files/2016_human_development_report.pdf. Acessado em: 03 de julho de 2021.

REPÚBLICA PORTUGUESA. **Economia Circular**. Disponível em: <https://www.dgae.gov.pt/servicos/sustentabilidade-empresarial/economia-circular.aspx>. Acessado em: 02 de julho de 2021.

ROADMAP SLOVENIA. **Roadmap towards the circular economy in slovenia**. Disponível em: http://vlada.arhiv-spletisc.gov.si/fileadmin/dokumenti/si/projekti/2016/zeleno/ROADMAP_TOWARDS_THE_CIRCULAR_ECONOMY_IN_SLOVENIA.pdf. Acessado em: 20 de junho de 2021.

ROBEYNS, I. The capability approach in practice. **Journal of Political Philosophy**, v. 14, n. 3, p. 351-376, 2006.

ROKICKI, Tomasz et al. The importance of higher education in the EU countries in achieving the objectives of the circular economy in the energy sector. **Energies**, v. 13, n. 17, p. 4407, 2020.

R-PROJECT. What is R? Disponível em: <https://www.r-project.org/about.html>. Acessado em: 21 de março de 2019.

RUBINS, Mareks; PILVERE, Irina. Development of renewable energy policy in Latvia. In: **Economic Science for Rural Development Conference Proceedings**. 2017.

SAIDANI, Michael et al. How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework. **Recycling**, v. 2, n. 1, p. 6, 2017.

SAIDANI, Michael et al. A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, v. 207, p. 542-559, 2019.

SAKAI, Shin-ichi et al. Waste prevention for sustainable resource and waste management. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 19, n. 4, p. 1295-1313, 2017.

SANTAGATA, Remo et al. Assessing the sustainability of urban eco-systems through Energy-based circular economy indicators. *Ecological Indicators*, v. 109, p. 105859, 2020.

SAUVÉ, Sébastien; BERNARD, Sophie; SLOAN, Pamela. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48-56, 2016.

SCHRÖEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBER, Uwe. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019.

SCHRÖDER, Patrick; LEMILLE, Alexandre; DESMOND, Peter. Making the circular economy work for human development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 156, p. 104686, 2020.

SDG – SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/iaeg-sdgs/tier-classification/>. Acessado em: 22 de maio de 2020

SEN, A. **O desenvolvimento como expansão de capacidades**. Lua Nova, São Paulo, 1993.

SEN, A. **Development as freedom**. First Ed. Oxford Paperbacks, Oxford, 1999.

SEN, A. Human rights and capabilities. **Journal of Human Development**, v. 6, n. 2, p. 151-166, 2005.

SEN, Amartya Kumar. **The idea of justice**. Harvard University Press, 2009.

SEN, A. The ends and means of sustainability. **Journal of Human Development and Capabilities**, v.4, n. 1, p. 6-20, 2013.

SEPA – SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em: <http://www.swedishepa.se/>. Acessado em: 02 de julho de 2021.

SEPARATE WASTE SYSTEMS. 2015. **Enabling market uptake of innovative separation and cleaning solutions for material recycling of all product groups contained in bio-wastes and MSW**. Disponível em: <http://www.separate-wastesystems.eu/contents/deliverablesdocs/separate-country-profiles.pdf>. Acessado em: 10 de julho de 2021.

SHOVE, Elizabeth. Beyond the ABC: climate change policy and theories of social change. **Environment and planning A**, v. 42, n. 6, p. 1273-1285, 2010.

SNEDDON, Chris; HOWARTH, Richard B.; NORGAARD, Richard B. Sustainable development in a post-Brundtland world. **Ecological economics**, v. 57, n. 2, p. 253-268, 2006.

SOVACOOOL, Benjamin K. et al. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice. **Energy Policy**, v. 105, p. 677-691, 2017.

SPRUIJT, Pita et al. Roles of scientists as policy advisers on complex issues: a literature review. **Environmental Science & Policy**, v. 40, p. 16-25, 2014.

SRIP CIRCULAR ECONOMY. **The Strategic Research and Innovation Partnership – Networks for the transition into circular economy**. Disponível em: <https://srip-circular-economy.eu/>. Acessado em: 30 de junho de 2021.

STAHEL, Walter R. Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 1986, p. 20110567, 2013.

STAHEL, Walter R. The circular economy. **Nature News**, v. 531, n. 7595, p. 435, 2016.

SU, Biwei et al. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

TAMÊGA E SOUSA – COMUNIDADE INTERMUNICIPAL. Documentação. Disponível em: <http://www.cimtamegaesousa.pt/#/documentacao>. Acessado em: 2 de julho de 2021.

THE CLICK. 2020. **De Haan the first to “click”**. Disponível em: <https://www.the-click.be/en/nieuwsartikel/de-haan-first-click>. Acessado em: 30 de junho de 2021.

TISSERANT, Alexandre et al. Solid waste and the circular economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 628-640, 2017.

TSAGARAKIS, Konstantinos P. et al. Clean vs. green: Redefining renewable energy. Evidence from Latvia, Lithuania, and Romania. **Renewable Energy**, v. 121, p. 412-419, 2018.

UNDP – UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Report 1995: Reflections on Human Development**. United Nations Development Programme, 1995.

_____ - **Sustainability and Equity: A better Future for All**. United Nations Development Programme, 2011.

_____ - **Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerability and Building Resilience**. United Nations Development Programme, 2014.

_____ - **Human Development Report 2016: human development for everyone**. 2016. United Nations Development Programme, 2016.

_____ - **Human Development Indices and Indicators**. United Nations Development Programme, 2108a.

_____ - **Technical notes**. United Nations Development Programme, 2018b.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Circular Economy: An Alternative Model for Economic Development**. United Nations Environment Programme, Paris, 2006.

VARAM – Ministry of Environmental Protection and Regional Development Republic of Latvia. **National and regional waste management plans**. Disponível em: <https://www.varam.gov.lv/lv/valsts-un-reģionalie-atkritumu-apsaimniekosanas-plani>. Acessado em: 12 de julho de 2021.

WALKER, Melanie. Amartya Sen's capability approach and education. **Educational action research**, v. 13, n. 1, p. 103-110, 2005.

WANG, Yacan; HAZEN, Benjamin T. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. **International Journal of Production Economics**, v. 181, p. 460-469, 2016.

WEBSTER, Ken. What might we say about a circular economy? Some temptations to avoid if possible. **World Futures**, v. 69, n. 7-8, p. 542-554, 2013.

WEBSTER, Ken. The circular economy: A wealth of flows. **Ellen MacArthur Foundation Publishing**, 2017.

WEISSBROD, Ilka; BOCKEN, Nancy MP. Developing sustainable business experimentation capability—a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2663-2676, 2017.

WOHLIN, Claes. **Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering**. In: Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering, p. 1-10, 2014.

WORLD BANK – **DataBank: World Development Indicators**. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=EG.ELC.RNEW.ZS&country=#>. Acessado em: 17 de maio de 2020

WINANS, Kiara; KENDALL, Alissa; DENG, Hui. The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 825-833, 2017.

WINKLER, Herwig. Closed-loop production systems—A sustainable supply chain approach. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 4, n. 3, p. 243-246, 2011.

WHALEN, Katherine A. et al. ‘All they do is win’: Lessons learned from use of a serious game for Circular Economy education. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 335-345, 2018.

XUE, Bing et al. A review on China's pollutant emissions reduction assessment. **Ecological Indicators**, v. 38, p. 272-278, 2014.

YUAN, Zengwei; BI, Jun; MORIGUICHI, Yuichi. The circular economy: A new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.

ZELLENTIN, Alexa. Climate justice, small island developing states & cultural loss. **Climatic change**, v. 133, n. 3, p. 491-498, 2015.

ZHIJUN, Feng; NAILING, Yan. Putting a circular economy into practice in China. **Sustainability Science**, v. 2, n. 1, p. 95-101, 2007.

APÊNDICE 1

No desenvolvimento inicial da tese, foi elaborada uma pesquisa qualitativa por meio de uma revisão sistemática da literatura no intuito de encontrar, compreender e justificar as relações existentes entre o DH, tendo como apoio a TC, e os princípios e ações da EC.

Nesta etapa realizou-se uma busca na literatura com o objetivo de relacionar os princípios e práticas da EC com a Teoria das Capacidades de Amartya Sen, tendo em vista os fenômenos sociais do desenvolvimento humano, pobreza e desigualdades, e as variáveis presentes nos RDHs, que são a renda, saúde e educação.

Com a questão de pesquisa e os objetivos da tese determinados, uma estratégia de busca foi desenvolvida. A busca por referências ocorreu em abril de 2019 e várias palavras-chave foram escolhidas para obter uma amostra respeitável de artigos a serem analisados, sendo elas: ("circular economy" AND ("capability approach" OR "Amartya Sen" OR poverty OR "human development" OR inequality OR health OR education OR income OR "social indicators" OR "social performance" OR "well-being" OR welfare OR "human development report" OR IDH OR "quality of life" OR "social development" OR "sustainable human development")). A busca pelas palavras-chave ficou restrita ao título, resumo e palavras-chave dos artigos.

Posteriormente, foi utilizado o pacote bibliometrix do software R. Recentes estudos mostram que a popularidade da linguagem de programação R aumentou substancialmente nos últimos anos, tendo sido amplamente utilizado no ambiente acadêmico e corporativo (ARIA; CUCCURULLO, 2017; R-PROJECT, 2019). O software fornece uma ampla variedade de análises estatísticas (modelagem linear e não-linear, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, agrupamento, entre outros), técnicas gráficas e é altamente extensível. Por meio deste pacote é possível implementar rotinas que permitem análises bibliométricas a partir dos arquivos do *Scopus* e do WoS, gerando automaticamente dados como: produção anual, autores e países mais produtivos e mais citados, artigos mais citados, periódicos mais utilizados, palavras-chave mais relevantes etc.

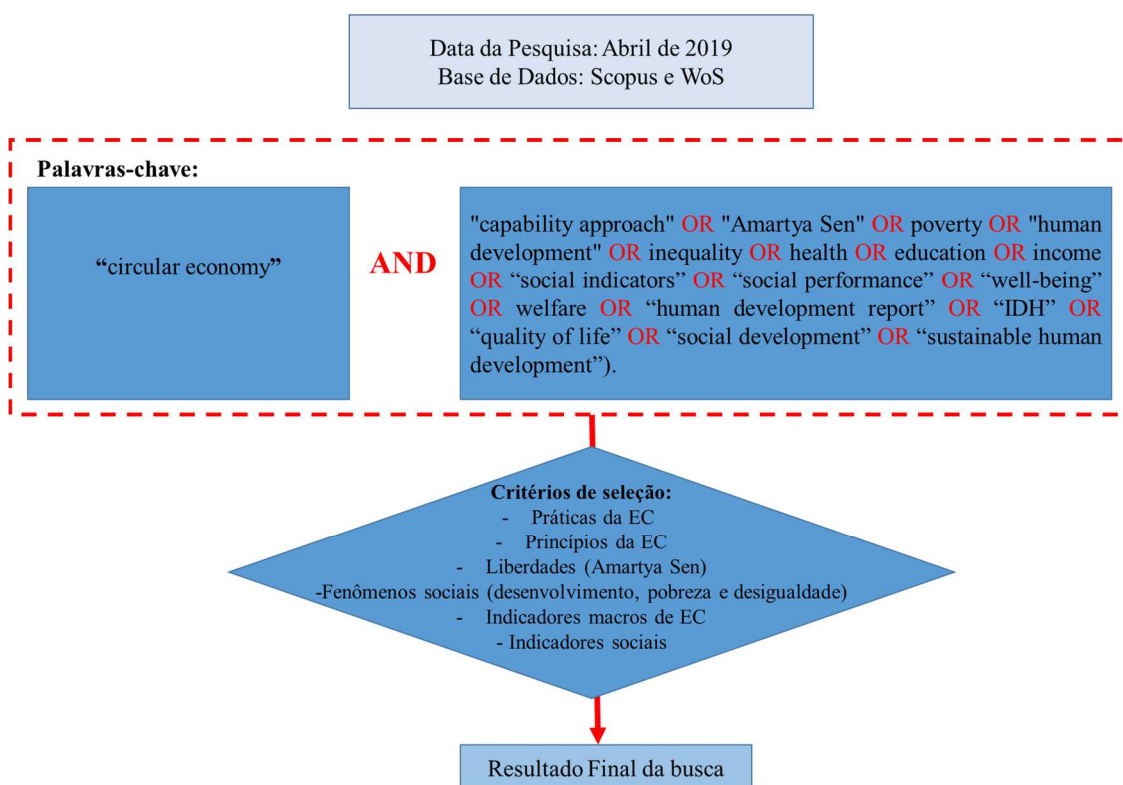
Para diagnosticar se dentro do escopo desta pesquisa, a escolha das palavras-chave foi adequada, também foi feito uso do software R. É possível, rapidamente, a partir de uma primeira busca baseada em algumas palavras-chave principais, identificar outras palavras-chave utilizadas e sinônimos que devem ser incorporados às buscas em um

posterior refino que será realizado em maio de 2019. Além disso, é possível gerar uma rede de "*co-occurrence*" das palavras-chave para identificar as que geralmente são usadas juntas pelos autores, inclusive por período, permitindo identificar outras palavras-chave relacionadas à temática. Assim, a partir destas técnicas, as palavras-chave podem ser refinadas mais rapidamente (ARIA; CUCCURULLO, 2017; BIBLIOMETRIX, 2019; R-PROJECT, 2019).

Devido à fase embrionária em que a literatura se apresenta com relação aos temas relacionados na busca sobre o tema desta tese, artigos publicados em congressos, livros/capítulos de livros, e comunicados em línguas diferentes do inglês foram considerados para compor a amostra desta pesquisa. Adicionalmente, livros conceituados como o de Amartya Sen, ainda que não representados na busca, também foram considerados nesta pesquisa devido a sua importância no tema da Abordagem das Capacidades.

A base de dados Scopus e Web of Science (WoS) foram escolhidas como fontes de pesquisa. Juntas, elas disponibilizam uma gama significativa de artigos e com qualidade aceitável pela academia. O Scopus aborda artigos com e sem *Journal Citation Reports* (JCR), fornecendo uma cobertura mais abrangente da literatura recente (HARZING; ALAKANGAS, 2016), indexando cerca de 70% mais fontes do que o *Web of Science* (BRZEZINSKI, 2015). Entretanto, a WoS apresenta em sua base apenas artigos com JCR, gerando credibilidade às fontes utilizadas na pesquisa. A Figura 6 sintetiza a estratégia da busca por artigos.

Figura 7: Estratégia de busca por artigos



Fonte: Elaborado pela autora.

A estratégia de busca e refino foi concentrada na análise dos artigos relacionados à literatura de EC. A combinação escolhida pela autora foi aplicada na base de dados Scopus, que forneceu 372 artigos; e na Web of Science (WoS), com 276. Com a ajuda do software Rstudio, foi possível identificar que alguns documentos apareceram em ambos os resultados fornecidos pelas bases. Assim, o resultado final, descartando as repetições, foi de 462 documentos. Como dito anteriormente, não houve seleção quanto a fonte do artigo, dado que a junção das temáticas TC e EC é algo novo e pouco discutido. Assim, foram abordados *journals*, congressos, *surveys*, livros, entre outros.

Após a seleção, através da leitura dos *abstracts*, foram escolhidos artigos que referenciavam algum aspecto ou variável de TC. A EC é um tema atual e significativamente mais novo que a TC e, portanto, ela deve ser a base principal de análise dos artigos, os quais foram classificados de acordo com as categorias de Sen (TC), ainda que não o cite diretamente. Portanto, os artigos tiveram um tratamento sob a ótica dos fenômenos sociais do desenvolvimento, pobreza e desigualdade, principalmente com relação às variáveis renda, saúde e educação. Outra abordagem de análise foram as práticas de EC, tendo em mente as ações no âmbito macro da EC e os indicadores que a literatura traz no intuito de mensurar os resultados destas ações.

Posteriormente, seguindo os métodos de revisão sistemática da literatura proposto por Lage Junior et al. (2010), Jabbour (2013) e Mariano et al. (2015), foi desenvolvido um sistema de classificação e análise para representar todas as dimensões do objeto pesquisado. A categorização dos artigos está pautada em: (a) tipos de documentos, (b) *journals* representativos em número de publicações, (c) palavras-chave dos autores, (d) palavras-chave das bases de busca, (e) publicações por ano, (f) publicações e citações por país, e (g) número de citações, citações por ano, país do autor correspondente.

Esta análise permitiu a elaboração de um perfil da produção científica, sendo apresentado os principais resultados, com base no sistema de classificação previamente desenvolvido. Consequentemente, esta análise permitiu identificar e analisar as lacunas, bem como as oportunidades e desafios, permitindo a criação de uma agenda de pesquisas futuras sobre o tema.

A busca com as palavras-chave identificadas na Figura 6 para a elaboração da revisão sistemática da literatura foi realizada em abril de 2019. Com o resultado da busca e aplicação do software R, alguns resultados parciais que permitem o entendimento e compreensão das temáticas já foram alcançados, conforme a Tabela 29. Alguns deles serão discutidos e analisados adiante.

Tabela 29:Dados dos resultados das buscas

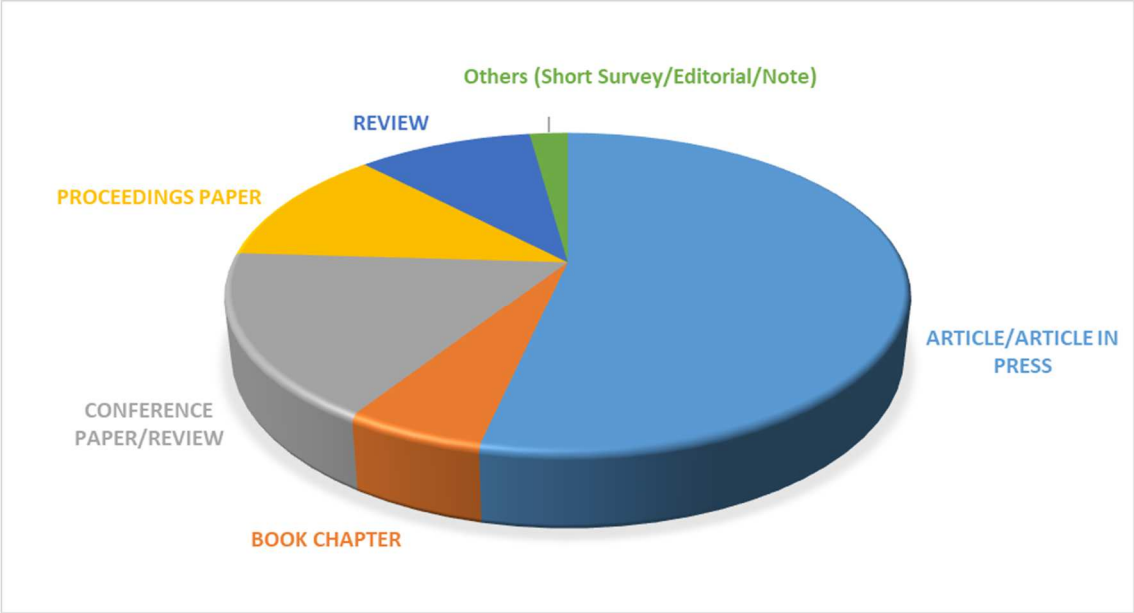
Descrição	Resultados
Nº Total de Documentos	462
Diferentes Fontes (Journals, Books, etc.)	284
Palavras-chave das bases	2771
Palavras-chave dos autores	1408
Período (1ª e última publicação)	2003 - 2019
Média de citações por documento	5.669
Autores	1327
Autores referenciados	1540
Autores de documentos de autoria única	83
Autores de documentos de múltipla autoria	1244
Documentos com único autor	106
Documentos/Autor	0.348
Autores/Documento	2.87
Co-Autores/Documento	3.33
Índice de colaboração	3.49

Fonte: Elaborada pela autora.

Através do Gráfico 3, é possível identificar os canais escolhidos pelos autores, sendo 284 fontes diferentes. Porém, consideravelmente, a preferência são artigos

publicados em *journals*, seguidos por artigos e revisões encaminhadas à congressos, revisões, *proceedings paper* e capítulos de livros. Algumas outras opções apareceram na busca, como *short survey*, editorial e *notes*, mas de forma pouco significativa.

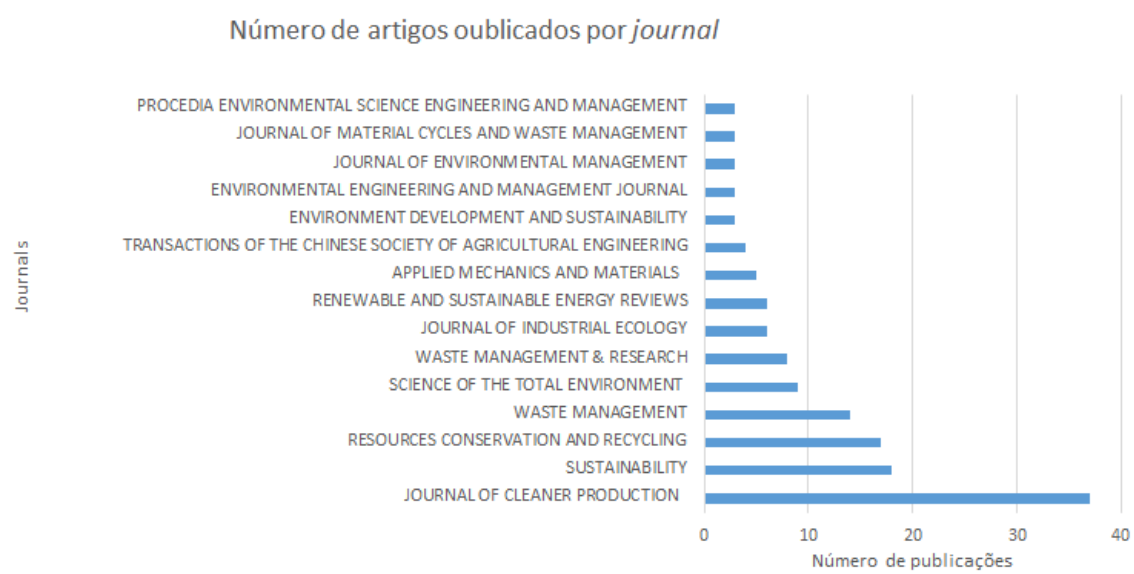
Gráfico 3: Tipos de documentos



Fonte: Elaborado pela autora.

Tendo como premissa que os artigos publicados em *journals* são os mais utilizados pelos autores que estão discutindo o tema, o Gráfico 4 ilustra quais são os principais.

Gráfico 4: Journals representativos em número de publicações

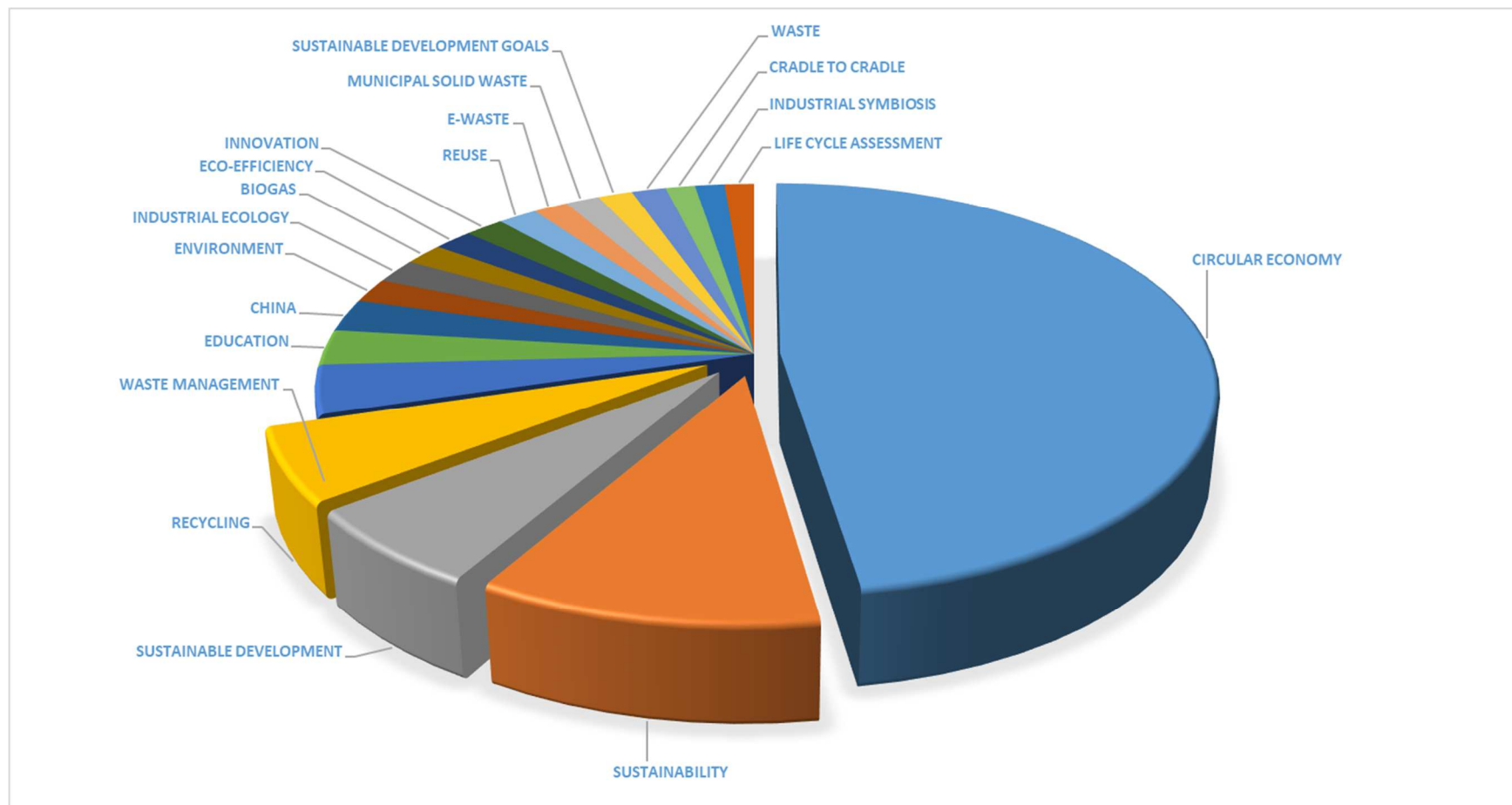


Fonte: Elaborado pela autora.

No total, o *software* R identificou 1408 palavras-chave diferentes. Estas palavras-chave são as escolhidas pelo(s) autor(es) para o seu artigo. Entretanto, a base de dados (Scopus e WoS) também selecionam palavras-chave para enriquecer as buscas realizadas em suas bases, contemplando um total de 2771 palavras. Estas palavras-chave estipuladas pelas bases explica o porquê algumas vezes a autora fez a solicitação da busca por determinadas palavras no título, resumo e palavras-chave e, mesmo elas não constando nestes tópicos, alguns artigos aparecerem no recorte.

As 20 palavras-chave que mais foram utilizadas pelos autores selecionados na busca estão ilustradas no Gráfico 5. Conforme esperado, *Circular Economy* é a palavra em maior evidência, pois a busca foi realizada em artigos de EC para análise de aspectos sociais associados às capacidades de Amartya Sen. As outras 3 palavras que ganharam destaque foram: *sustainability*, *sustainable development* e *recycling*

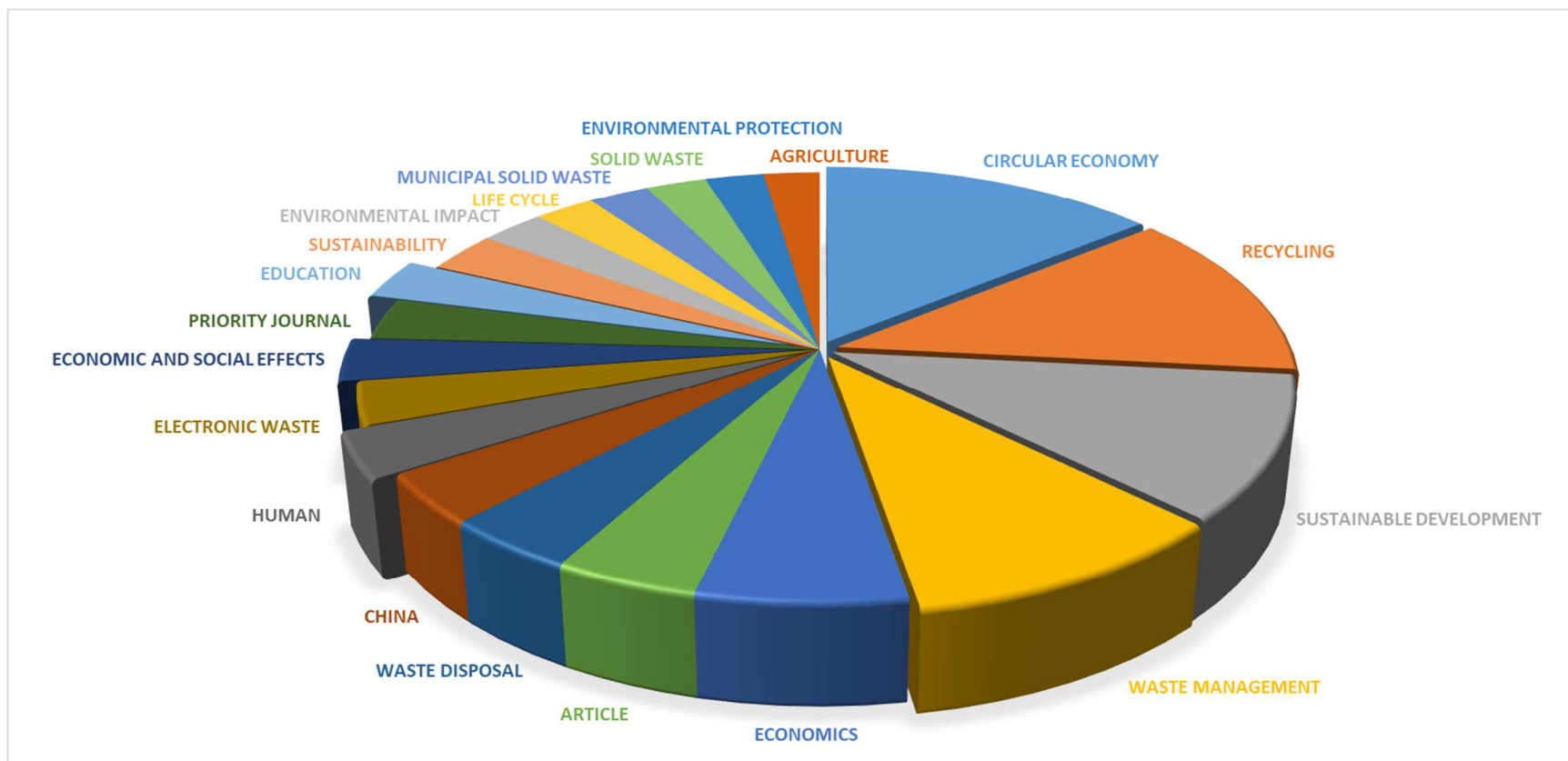
Gráfico 5: Palavras-chave dos autores



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto as 20 palavras-chave que mais foram utilizadas pelas bases, representadas no Gráfico 6, existe uma melhor distribuição. *Circular Economy* continua sendo a palavra mais referenciada, seguida de outras como *recycling*, *sustainable development* e *waste management*. O Gráfico 4 apresenta as 20 palavras-chaves mais utilizadas.

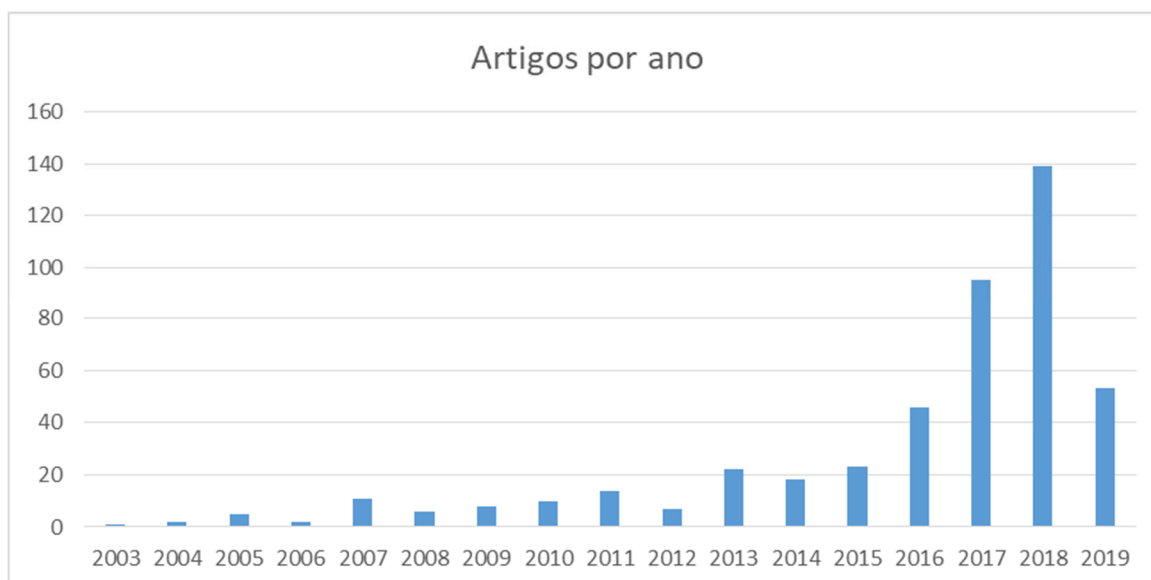
Gráfico 6: Palavras-chave das bases de busca



Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto ao período de publicação dos artigos advindos das buscas, como pode ser visto no Gráfico 7, o primeiro artigo foi publicado em 2003. Em 2016 é possível observar um crescimento exponencial do interesse nesta linha de pesquisa que persiste até o presente momento (2019).

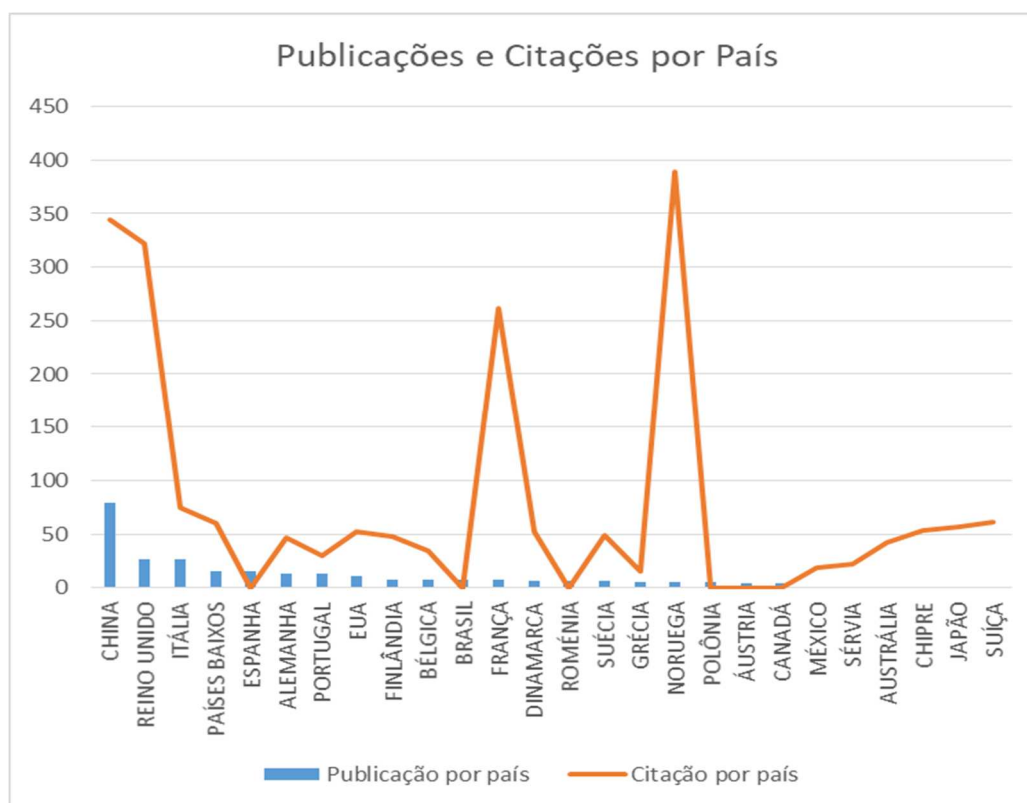
Gráfico 7: Publicações por ano



Fonte: Elaborado pela autora.

É possível também analisar quais são os países que mais publicam nesta área e quais são os mais referenciados pelo Gráfico 6. Cabe evidenciar que os 20 países que mais publicaram documentos sobre o tema, nem sempre coincidem com os 20 países com artigos mais citados.

Gráfico 8: Publicações e Citações por país



Fonte: Elaborado pela autora.

As informações dos artigos mais citados são apresentadas pela Tabela 2 e ilustram a ocorrência mencionada anteriormente, apresentada pelo Gráfico 6, quanto aos países com poucas publicações, porém com citações representativas. Dentro do recorte de artigos estipulado pelas buscas, o documento com maior número de citações (359) é o “*China's growing CO2 emissions a race between increasing consumption and efficiency gains*”, publicado pela revista *Environmental Science & Technology* em 2007 (PETERS et al., 2007). Em seguida, com 245 citações, “*Sustainability and in situ monitoring in battery development*”, publicado em 2017 pela *Nature Energy* (GREY; TARASCON, 2017). Em terceiro lugar, o documento “*The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context*”, da revista *Journal of Business*, publicado em 2017 (MURRAY et al., 2017), aparece com 167 citações.

Analisando a Tabela 30, é possível identificar apenas 2 publicações da Noruega em 10 anos, ainda que consideravelmente citados. Já o Reino Unido apresenta, em dois anos (2015/2017), cinco publicações com citações expressivas.

Tabela 30: Dados dos artigos mais citados

Artigos	Nº de Citações	Citações por Ano	País do Autor correspondente	Referência dos Artigos
PETERS et al., 2007	359	29.92	Noruega	PETERS, Glen P. et al. China's growing CO2 emissions a race between increasing consumption and efficiency gains. <i>Environmental Science & Technology</i> , v. 41, n. 17, p. 5939-5944, 2007.
GREY et al., 2017	245	81.67	Reino Unido	GREY, C. P.; TARASCON, J. M. Sustainability and <i>in situ</i> monitoring in battery development. <i>Nature materials</i> , v. 16, n. 1, p. 45, 2017.
MURRAY et al., 2017	167	83.50	Reino Unido	MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. <i>Journal of Business Ethics</i> , v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.
ZHIJUN et al., 2007	89	7.42	China	ZHIJUN, Feng; NAILING, Yan. Putting a circular economy into practice in China. <i>Sustainability Science</i> , v. 2, n. 1, p. 95-101, 2007.
WINANS et al., 2017	74	37.00	EUA	WINANS, Kendall; KENDALL, Alissa; DENG, Hui. The history and current applications of the circular economy concept. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , v. 68, p. 825-833, 2017.
CHRISTOU et al., 2017	51	25.50	Chipre	CHRISTOU, Anastasis et al. The potential implications of reclaimed wastewater reuse for irrigation on the agricultural environment: The knowns and unknowns of the fate of antibiotics and antibiotic resistant bacteria and resistance genes—A review. <i>Water research</i> v. 123, p. 448-467, 2017.
WANG et al., 2016	50	16.67	China	WANG, Yacan; HAZEN, Benjamin T. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. <i>International Journal of Production Economics</i> , v. 181, p. 460-469, 2016.
DONG et al., 2013	44	7.33	China	DONG, L. et al. Economic and environmental gains of China's fossil energy subsidies reform: A rebound effect case study with EIMO model. <i>Energy Policy</i> , v. 54, p. 335-342, 2013.
D'AMATO et al., 2017	39	19.50	Finlândia	D'AMATO, Dalia et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 168, p. 716-734, 2017.
LU et al., 2014	39	7.80	China	LU, Chenyu et al. An overview of e-waste management in China. <i>Journal of Material Cycles and Waste Management</i> , v. 17, n. 1, p. 1-12, 2015.
DESPEISSE et al., 2017	38	19.00	Reino Unido	DESPEISSE, Melanie et al. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. <i>Technological Forecasting and Social Change</i> , v. 115, p. 75-84, 2017.
DE LOS RIOS et al., 2017	35	17.50	Reino Unido	DE LOS RIOS, Irel Carolina; CHARNLEY, Fiona JS. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v. 160, p. 109-122, 2017.
STAHEL, 2013	35	5.83	Suíça	STAHEL, Walter R. Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society. <i>Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences</i> , v. 371, n. 1986, p. 20110567, 2013.
NESS, 2008	35	3.18	Austrália	Ness, D. Sustainable urban infrastructure in China: Towards a Factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure systems. <i>The International Journal of Sustainable Development & World Ecology</i> , v. 15, n. 4, p. 288-301, 2008.
XUE et al., 2014	33	6.60	China	Xue, B., Mitchell, B., Geng, Y., Ren, W., Müller, K., Ma, Z., ... & Tobias, M. A review on China's pollutant emissions reduction assessment. <i>Ecological Indicators</i> , v. 1, n. 38, p. 272-278, 2014.
TISSERANT et al., 2017	30	15.00	Noruega	Tisserant, A., Pauliuk, S., Merciai, S., Schmidt, J., Fry, J., Wood, R. and Tukker, A. Solid waste and the circular economy: a global analysis of waste treatment and waste footprints. <i>Journal of Industrial Ecology</i> , v. 21, n. 3, p. 628-640, 2017.
KALMYKOVA et al., 2016	30	10.00	Suécia	Kalmykova, Y., Rosado, L. and Patrício, J. Resource consumption drivers and pathways to reduction: economy, policy and lifestyle impact on material flows at the national and urban scale. <i>Journal of Cleaner Production</i> , v.1, n. 132, p.70-80, 2016.
ANDREWS, 2015	30	7.50	Reino Unido	ANDREWS, Deborah. The circular economy, design thinking and education for sustainability. <i>Local Economy</i> , v. 30, n. 3, p. 305-315, 2015.
KOOP et al., 2017	27	13.50	Holanda	KOOP, Steven HA; VAN LEEUWEN, Cornelis Johannes. The challenges of water, waste and climate change in cities. <i>Environment, development and sustainability</i> , v. 19, n. 2, p. 385-418, 2017.
MATHEWS, 2011	27	3.38	Itália	MATHEWS, John A. Naturalizing capitalism: the next great transformation. <i>Futures</i> , v. 43, n. 8, p. 868-879, 2011.

Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela 30 também permite analisar outra questão importante: o número de citações por ano. Uma análise mais detalhada permite observar que ainda que o 1º artigo com 359 citações alcance uma posição considerável dentre os demais, sua citação por ano não segue a mesma trajetória. Publicado em 2007, dez anos antes do segundo e do terceiro artigo, ele apresenta um índice de 29,92 citações por ano. Diferentemente do segundo e do terceiro, com 81,67 e 83,50 citações por ano.

Considerando-se as 20 fontes mais representativas, 15 eram *journals* e as demais diversificadas entre livros, congressos e outros. O *Journal of Cleaner Production* é o *journal* com maior número de publicações (37) e com uma diferença significativa dos demais. Em seguida, o *Sustainability* (18), *Resources Conservation and Recycling* (17) e *Waste Management* (14).

A incidência de artigos no *Journal of Cleaner Production* condiz com o objetivo da revista internacional, que é priorizar artigos que ajudem as sociedades a se tornarem mais sustentáveis. É uma revista transdisciplinar, voltada para a pesquisa e a prática de Produção Mais Limpa (P+L), questões ambientais e sustentabilidade. Assim, as áreas de assunto incluem questões que protagonizam este trabalho, como desenvolvimento sustentável e sustentabilidade; consumo sustentável; avaliação ambiental e de sustentabilidade; produtos e serviços sustentáveis; sustentabilidade corporativa e responsabilidade social corporativa; educação para o desenvolvimento sustentável; governança, legislação e política para a sustentabilidade; entre alguns outros (ELSEVIER, 2019).

Quanto aos resultados obtidos através da análise das palavras-chave, algumas discussões devem acontecer. Uma em específico deve ser feita quanto à palavra-chave *education*. Entre as raras palavras que relacionam EC com as questões sociais, *education* é uma que aparece e permite um olhar crítico quanto à relação dos temas EC e TC. Portanto, levando em consideração as palavras-chave dos artigos das buscas, educação se destaca como o ponto em que as pesquisas mais têm avançado para entender a relação da EC e questões sociais.

Outra questão é a incidência das palavras-chave *sustainable development* e *sustainability*, tanto dos autores quanto das bases. A utilização significativa de ambas como palavras-chave para os artigos apresentados na busca demonstram que a EC está significativamente relacionada com desenvolvimento sustentável.

Outra palavra-chave a ser destacada é *China*. País pioneiro na adoção de práticas circulares, com graves problemas sociais e ambientais, justifica o fato de muitos artigos abordarem o país como objeto de estudo.

As palavras-chave *waste, recycling, reuse, life cycle, industrial ecology, eco-efficiency, life cycle, cradle to cradle, industrial symbiosis* e biogás, são as palavras-chave mais utilizadas tanto pelos autores quanto pelas bases. A justificativa para isto é o fato de estas palavras estarem muito associadas com EC, suas práticas e seus conceitos.

O fato de as palavras-chave dos autores e das bases não englobarem palavras que façam referência a aspectos sociais (exceto *human, economic and social effects e education*), principalmente às capacidades de Amartya Sen, confirma a fase embrionária das pesquisas sobre a relação entre as duas temáticas. Sendo um pouco mais específico, as palavras indicativas de aspectos sociais provavelmente foram citadas de maneira pouco aprofundada apenas no resumo dos trabalhos levantados, o que indica que esses aspectos não foram o foco de nenhum dos artigos. Por isso, a estratégia desenvolvida para a revisão sistemática da literatura foi buscar aspectos sociais dentro de artigos sobre EC.

Com relação aos resultados relacionados às publicações, cabe ressaltar que os 20 países que mais publicaram documentos sobre o tema, nem sempre coincidem com os 20 países com artigos mais citados. Retomando o Gráfico 6, é possível diagnosticar que China e Reino Unido caminham com publicações e citações de forma coerente, estando entre os mais citados e com maiores publicações. Entretanto, a Noruega foge desta linha ao apresentar o maior número de citações (389) com um número muito baixo de publicações sobre o tema (5). França também é um país com alto índice de citações (262) e poucas publicações (7). Alguns países não foram elencados entre os 20 mais citados, mas apareceram no ranking de publicações, como Espanha, Brasil, Romênia, Polônia, Áustria e Canadá. Da mesma forma, alguns países não apareceram entre os 20 que mais publicaram, mas foram classificados entre os mais citados, como México, Sérvia, Austrália, Chipre, Japão e Suíça.

Quanto às informações dos artigos mais citados, apresentadas pela Tabela 2, é observado que alguns países com poucas publicações se despontaram devido ao número representativo de citações. Dentro do recorte de artigos estipulado pelas buscas, o documento com maior número de citações (359) é o “*China's growing CO2 emissions a race between increasing consumption and efficiency gains*”, publicado pela revista *Environmental Science & Technology* em 2007, cujo autor correspondente, Glen Peters, é da Noruega. O artigo aborda o rápido crescimento da economia e do consumo de energia

na China e relaciona este fato à sérios problemas ambientais em escala local e global, propondo o desenvolvimento de políticas climáticas globais e a implementação de práticas da EC para ajudar o país a evitar o caminho de alto volume de emissões adotado pelos países desenvolvidos.

Em seguida, com 245 citações, “*Sustainability and in situ monitoring in battery development*”, publicado em 2017 pela *Nature Energy*, cujo autora correspondente, Clare P. Grey, é do Reino Unido. O objetivo do artigo é o desenvolvimento de baterias recarregáveis aprimoradas que possibilitam o uso de energia renovável e permite a mudança do uso de gasolina para veículos elétricos. Os autores preocupam-se em minimizar os impactos ambientais associados ao uso mais amplo destas baterias escolhendo produtos químicos que tenham um impacto mínimo na natureza e que sejam mais prontamente reciclados ou integrados em um modelo de economia circular.

Em terceiro lugar, o documento “*The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context*”, da revista *Journal of Business*, publicado em 2017, aparece com 167 citações e o autor correspondente, Allan Murray, também é do Reino Unido. O artigo apresenta a EC como uma orientação para a implementação de estratégias para o desenvolvimento sustentável, traçando seus conceitos e origens. Entretanto, o artigo discute que, embora a EC contribua para modelos de negócios mais sustentáveis, ela também apresenta limitações como a ausência da dimensão social inerente ao desenvolvimento sustentável. Por isso, os autores propõem uma definição revisada da Economia Circular focando, especificamente, em maximizar o funcionamento do ecossistema e o bem-estar humano.

Sendo assim, é possível compreender porque a Noruega se destaca em número de citações (já que a diferença entre os números das mesmas é significativa), mas não aparece em destaque quanto às publicações. Analisando a Tabela 2, é possível identificar apenas 2 publicações da Noruega em 10 anos, ainda que consideravelmente citadas. Já o Reino Unido apresenta, em dois anos (2015/2017), cinco publicações com citações expressivas.

Uma questão importante a ser ressaltada é que a China foi o foco das pesquisas de todos os artigos destacados na Tabela 2. Além disso, de 2007 em diante, o número de publicações do país no tema TC e EC é frequente. A China é um país que ganha destaque quando o assunto é meio ambiente, recursos e sociedade. Altamente populosa e com baixa fonte de recursos, a China rapidamente precisou redescobrir uma maneira de se desenvolver econômica, ambiental e socialmente. Ainda que os artigos com autores

correspondentes chineses não tenham alcançado destaque por algum artigo específico, juntos são capazes de determinar uma posição entre os 20 artigos mais citados e o país entre os 20 com maior número de publicações.

Outro país que ganha destaque é o Reino Unido. O número de citações por ano dos artigos cujo primeiro autor pertence ao país, ilustra a crescente importância que o Reino Unido tem conquistado nestes últimos anos dentro do tema TC e EC. Na Tabela 2 é possível observar que o 1º artigo com 359 citações alcança uma posição considerável dentre os demais, mas a sua citação por ano não segue a mesma trajetória. Publicado em 2007, dez anos antes do segundo e do terceiro artigo, ele apresenta um índice de 29,92 citações por ano. Diferentemente do segundo e do terceiro, ambos do Reino Unido, com 81,67 e 83,50 citações por ano.

Uma questão que incita reflexões é o fato de países da América Latina não estarem entre os países com maiores publicações e/ou citações. Outra questão é o fato dos EUA, que é uma potência com grande influência e impactos nas questões ambientais e sociais, apresentar apenas um artigo na lista dos 20 mais citados e com um número de citações significativamente menor do que os três primeiros classificados.

APÊNDICE 2

Tabela 31: Matriz de correlação do IEC e indicadores do RDH

IEC / INDICADORES RDH	IEC	IDH	Expectativa de vida no nascimento (anos)	Anos esperados de escolaridade (anos)	Anos médios de escolaridade (anos)	Renda nacional bruta (RNB) per capita	Classificação do RNB per capita menos classificação do IDH	IDH ajustado à desigualdade (IDGad)	Coefficiente de desigualdade humana	Desigualdade na expectativa de vida	Índice de expectativa de vida ajustado à desigualdade	Desigualdade na educação	Índice de educação ajustado à desigualdade	Desigualdade na renda	Índice de renda ajustado à desigualdade	Índice de Desenvolvimento de Gênero (IDevG)	Índice de Desenvolvimento Humano Feminino (IDH)	Índice de Desenvolvimento Humano Masculino (IDH)
IEC	1																	
IDH	-0,10	1,00																
Expectativa de vida no nascimento (anos)	-0,27	0,75	1,00															
Anos esperados de escolaridade (anos)	0,20	0,38	0,18	1,00														
Anos médios de escolaridade (anos)	0,17	0,25	-0,39	-0,03	1,00													
Renda nacional bruta (RNB) per capita	-0,32	0,80	0,64	-0,13	0,18	1,00												
Classificação do RNB per capita menos classificação do IDH	0,37	-0,02	-0,27	0,71	0,29	-0,54	1,00											
IDH ajustado à desigualdade (IDGad)	-0,06	0,92	0,59	0,30	0,39	0,74	-0,03	1,00										
Coefficiente de desigualdade humana	-0,06	-0,39	-0,08	-0,04	-0,46	-0,32	0,03	-0,72	1,00									
Desigualdade na expectativa de vida	0,28	-0,77	-0,91	-0,10	0,23	-0,74	0,34	-0,67	0,23	1,00								
Índice de expectativa de vida ajustado à desigualdade	-0,27	0,76	1,00	0,17	-0,37	0,67	-0,28	0,61	-0,10	-0,94	1,00							
Desigualdade na educação	-0,41	0,04	0,37	-0,12	-0,42	0,12	-0,24	-0,27	0,71	-0,25	0,35	1,00						
Índice de educação ajustado à desigualdade	0,42	0,31	-0,30	0,52	0,76	-0,04	0,65	0,47	-0,57	0,20	-0,29	-0,70	1,00					
Desigualdade na renda	0,10	-0,37	-0,08	0,05	-0,46	-0,33	0,11	-0,68	0,93	0,20	-0,10	0,46	-0,43	1,00				
Índice de renda ajustado à desigualdade	-0,24	0,78	0,52	-0,05	0,36	0,85	-0,39	0,90	-0,73	-0,63	0,54	-0,16	0,23	-0,77	1,00			
Índice de Desenvolvimento de Gênero (IDevG)	0,41	-0,55	-0,73	-0,02	0,27	-0,61	0,36	-0,44	0,07	0,69	-0,73	-0,30	0,31	0,09	-0,47	1,00		
Índice de Desenvolvimento Humano Feminino (IDH)	0,05	0,93	0,56	0,44	0,41	0,67	0,14	0,89	-0,44	-0,60	0,57	-0,10	0,50	-0,40	0,72	-0,21	1,00	
Índice de Desenvolvimento Humano Masculino (IDH)	-0,19	0,98	0,80	0,33	0,14	0,82	-0,09	0,88	-0,35	-0,81	0,81	0,10	0,19	-0,33	0,77	-0,71	0,83	1,00

Fonte: Elaborada pela autora.