



**Universidade Federal de Pernambuco**

Centro Acadêmico do Agreste - CAA

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - PPGEP

**Uso da ciência de dados através da metodologia CRISP-DM para  
análise da percepção de pesquisadores e profissionais acerca das  
medidas de transição da economia linear para circular**

Ednael Francisco Vieira da Silva

Orientador: Lúcio Camara e Silva, D.Sc.

Caruaru, 2024

Ednael Francisco Vieira da Silva

**Uso da ciência de dados através da metodologia CRISP-DM para análise da percepção de pesquisadores e profissionais acerca das medidas de transição da economia linear para circular**

Projeto apresentado no Mestrado em Engenharia de Produção, como um requisito parcial para obter o Título de Mestre em Engenharia de Produção, no Centro Acadêmico do Agreste - CAA da Universidade Federal de Pernambuco.

Orientador: Lúcio Camara e Silva

Caruaru, 2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Ednael Francisco Vieira da.

Uso da ciência de dados através da metodologia CRISP-DM para análise da percepção de pesquisadores e profissionais acerca das medidas de transição da economia linear para circular / Ednael Francisco Vieira da Silva. - Recife, 2024.

79f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2024.

Orientação: Lúcio Camara e Silva.

1. Ciência de dados; 2. Economia circular; 3. Percepção; 4. Medidas de transição. I. Silva, Lúcio Camara e. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

EDNAEL FRANCISCO VIEIRA DA SILVA

**USO DA CIÊNCIA DE DADOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA  
CRISP-DM PARA ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE PESQUISADORES E  
PROFISSIONAIS ACERCA DAS MEDIDAS DE TRANSIÇÃO DA  
ECONOMIA LINEAR PARA CIRCULAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em: 05 de Agosto de 2024

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Lúcio Camara e Silva (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dr. Thyago Celso Cavalcante Nepomuceno (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dr. Fábio Sandro dos Santos (Examinador Externo)

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

*“Se te mostrares frouxo  
no dia da aflição,  
a tua força será  
pequena”*

*Provérbios 24:10*

# AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pelo dom da vida e pela sua maravilhosa graça que me alcançou. Foi o Senhor que me sustentou até aqui, atendendo ao meu clamor e me dando forças. A Ele seja dada toda honra, glória e louvor!

A minha maravilhosa esposa, Elizama, que passou comigo por todo o processo. Foi ela quem me acalentou nos dias de maior necessidade, me aconselhou nas indecisões e foi minha companheira para todos os resultados das nossas escolhas. Eu te amo meu bem!

Aos meus pais, Dolôres e Edvaldo, que me deram todo apoio e suporte durante minha graduação e também mestrado. Eles sempre acreditaram em mim e no meu potencial, me motivando e auxiliando. Vocês são maravilhosos.

Aos meus irmãos e irmãs que sempre estiveram comigo, também dando suas parcelas de contribuição na minha vida. Amo vocês!

Aos meus tios, tias e primos que me ajudaram com suas orações e apoio nos momentos necessários.

Ao meu orientador professor Doutor Lúcio Camara e Silva, pelo companheirismo, apoio e amizade desde a graduação. Obrigado por tudo!

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste - PPGE/CAA, por fornecer toda estrutura e apoio necessário.

A todos professores do corpo docente pela excelente instrução e direcionamento durante o curso e a minha turma, pelo apoio e companheirismo.

Agradeço também ao CNPq pelo apoio financeiro durante todo o período de pós-graduação.

# RESUMO

Desde o advento da primeira Revolução Industrial, a humanidade passou a adotar um modal econômico baseado no consumo desenfreado de recursos naturais. Esse modelo, conhecido como economia linear, exaure as matérias-primas até a escassez e gera muitos resíduos. Só no Brasil, mais de 82 milhões de toneladas de resíduos são produzidas anualmente, sendo a taxa de reciclagem deste resíduo, de apenas 2%. Pensando nisso, autoridades globais tem desenvolvido ao longo dos últimos anos alternativas para este modo de produção, dentre as quais surge a economia circular que propõe a otimização do uso dos recursos naturais e matérias-primas virgens por meio de metas embasadas em reúso, redução e reciclagem. Este trabalho visa investigar as medidas mais efetivas de migração da economia linear para circular. Isso se dará por meio da aplicação da metodologia CRISP-DM, oriunda da ciência de dados, em um questionário aplicado em profissionais e pesquisadores de diversos países.

Palavras-chave: Ciência de Dados, Economia Circular, Percepção, Medidas de Transição.

# ABSTRACT

Since the advent of the first Industrial Revolution, human beings have adopted an economic model based on the unbridled consumption of natural resources. This model, known as the linear economy, exhausts raw materials to the point of scarcity and generates a lot of waste. In Brazil alone, more than 82 million tons of garbage are produced annually, and the recycling rate of this garbage is only 2%. With this in mind, global authorities have developed alternatives for this mode of production over the last few years, among which the circular economy emerges, which proposes the optimization of the use of natural resources and virgin raw materials through goals based on reuse, reduction and recycling. This work aims to investigate the most effective measures of migration from linear to circular economy. This will take place through the application of the CRISP-DM methodology, derived from data science, in a questionnaire applied to professionals and researchers from different countries.

Keywords: Data Science, Circular Economy, Perception, Transition Measures.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico do consumo energético do planeta em termos da sua biocapacidade. . . . .	20
Figura 2 – Prospecção do consumo de matérias-primas globais até 2050 . . . . .	21
Figura 3 – Infográfico dos aspectos da economia circular . . . . .	22
Figura 4 – Intervalos de amplitude interquartílica . . . . .	28
Figura 5 – Amostra de box-plots de quatro populações ( $n = 1.000$ ) . . . . .	28
Figura 6 – Gráfico de mapa de calor genérico . . . . .	32
Figura 7 – Gráfico de radar genérico . . . . .	33
Figura 8 – Esquema da abordagem CRISP-DM . . . . .	34
Figura 9 – Histograma geral dos dados . . . . .	39
Figura 10 – Nível de conhecimento sobre a economia circular . . . . .	44
Figura 11 – Atuação direta na economia circular . . . . .	45
Figura 12 – Distribuição dos países por região do mundo . . . . .	46
Figura 13 – Países pertencentes a europa . . . . .	47
Figura 14 – Gráfico de radar do desempenho das alternativas por grupo de critérios	48
Figura 15 – Gráfico de radar do desempenho das alternativas por grupos de critérios e respondentes . . . . .	51
Figura 16 – Boxplots das avaliações dos pesquisadores para cada medida . . . . .	53
Figura 17 – Transformação da matriz geral para matriz de medianas . . . . .	55
Figura 18 – P-valores cruzados das medidas avaliadas pelos profissionais . . . . .	57
Figura 19 – P-valores cruzados das medidas avaliadas pelos pesquisadores . . . . .	60

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos critérios e dps subgrupos a que pertencem . . . . .	36
Tabela 2 – Distribuição das profissões . . . . .	45
Tabela 3 – IQR para pesquisadores e profissionais. . . . .	54
Tabela 4 – Contagem de rejeições de $H_0$ para trabalhadores . . . . .	58
Tabela 5 – Contagem de rejeições de $H_0$ para pesquisadores . . . . .	61
Tabela 6 – Comparativo dos rankings das alternativas entre os pesquisadores e profissionais para o teste pareado . . . . .	62
Tabela 7 – Resultado do teste U de Mann Whitney . . . . .	63

# LISTA DE SIGLAS

ONU	Organização das Nações Unidas
EC	Economia circular
EL	Economia linear
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
MPE	Micro e Pequenas Empresas
RMC	Raw Materials Consumption
EPI	Environmental Performance Index
CRISP-DM	Cross Industry Standard Process for Data Mining
IQR	Intervalo interquartil
HO	Hipótese nula
H1	Hipótese alternativa

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e relevância</b>	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>BASE CONCEITUAL E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Economia linear</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Economia circular</b>	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>Distinção entre a economia circular e demais medidas de mitigação de impactos ambientais</b>	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Sustentabilidade e Economia Circular</b>	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Ciência de Dados e Economia Circular</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Economia circular e CRISP-DM</b>	<b>27</b>
<b>2.7</b>	<b>Ferramentas de análise e visualização de dados</b>	<b>27</b>
2.7.1	Diagrama de caixa	27
2.7.2	Amplitude interquartílica	28
2.7.3	Estatística não paramétrica e inferência	29
2.7.3.1	Teste de Shapiro-Wilk	29
2.7.3.2	Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon	30
2.7.3.3	U de Mann Withney	30
2.7.4	Visualização de dados: Heatmap, gráficos de radar e <i>Sunburst</i>	31
2.7.4.1	Heatmap	32
2.7.4.2	Radar Chart	33
2.7.4.3	Sunburst	33
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Entendimento do Problema</b>	<b>34</b>

<b>3.2</b>	<b>Preparação dos dados</b> . . . . .	<b>36</b>
3.2.1	Padronização de escrita . . . . .	36
3.2.2	Transformação de dados categóricos para numéricos . . . . .	37
3.2.3	Inversão de escala . . . . .	37
<b>3.3</b>	<b>Modelagem e escolha de métodos de avaliação</b> . . . . .	<b>38</b>
3.3.1	Análise estatística interquartil . . . . .	39
3.3.2	Análise Estatística Comparativa: Abordagens Pareadas e Não Pareadas . . . . .	40
3.3.3	Estruturação dos testes de hipóteses - Pareados . . . . .	41
3.3.4	Estruturação dos testes de hipóteses - Não Pareados . . . . .	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Perfil dos Respondentes</b> . . . . .	<b>43</b>
4.1.1	Atuação . . . . .	44
4.1.2	Nacionalidade . . . . .	46
<b>4.2</b>	<b>Desempenho das alternativas por grupo de critérios</b> . . . . .	<b>47</b>
4.2.1	Visão geral . . . . .	47
4.2.2	Visão segregada para os grupos de respondentes estudados . . . . .	49
<b>4.3</b>	<b>Desempenho individual das medidas em cada critério - Avaliação interquartil</b> . . . . .	<b>52</b>
<b>4.4</b>	<b>Testes pareados</b> . . . . .	<b>55</b>
4.4.1	Visão dos profissionais . . . . .	56
4.4.2	Visão dos pesquisadores . . . . .	59
<b>4.5</b>	<b>Testes não-pareados</b> . . . . .	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	<b>64</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>66</b>

# 1 Introdução

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), desde de 1970, a extração de recursos naturais da terra mais que triplicou, causando efeitos negativos ao bem estar do planeta e, conseqüentemente, à saúde humana. Esse consumo exagerado de matérias-primas se dá devido a um modelo de produção que é baseado em quatro fases: extração, que consiste na obtenção de insumos a partir do consumo de recursos naturais; transformação, a fase onde os recursos brutos são transformados por pessoas e máquinas; consumo, uso dos insumos; e descarte, dos resíduos gerados ao longo das etapas anteriores. Este modelo produtivo é chamado na literatura de economia linear (EL), um modelo que não leva em consideração a finitude dos recursos naturais.

Devido ao consumo desenfreado de recursos naturais, a preocupação com a escassez destes recursos vem crescendo e fazendo com que autoridades ao redor do mundo venham discutindo o assunto e adotando legislações que visam tratar do crescimento do consumo e do descarte incorreto de resíduos sólidos. Em 1980 a Estratégia Mundial de Conservação introduziu o termo “desenvolvimento sustentável” e a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento expandiu este conceito, afirmando que “O desenvolvimento sustentável é um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras para atender às suas próprias necessidades” (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT DEVELOPMENT, 1987).

Na tentativa de desacoplar o crescimento econômico do consumo desenfreado de recursos naturais surge a economia circular (EC), que visa a eliminação do lixo e poluição, circulação de produtos e materiais em uso, além da regeneração dos sistemas naturais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013b; CORONA et al., 2019).

No entanto, a transição para a EC traz consigo a necessidade de inovação, criação de políticas de regulamentação e um claro entendimento da situação econômica atual e seus desafios (ZHAO et al., 2024). No Brasil, em 2010, ocorreu a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) na qual dispõe de princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos para gerenciamento adequado desses resíduos (BRASIL, 2010). Dentre as diretrizes, uma das mais conhecidas é a aplicação de logística reversa na implementação da responsabilidade compartilhada. Esta medida responsabiliza os fabricantes, importadores,

distribuidores e comerciantes pela destinação final dos produtos quando atingem o final do ciclo de vida útil ou não são mais próprios para o consumidor (PEREIRA; SILVEIRA, 2014).

Ainda com o objetivo de expandir os modelos produtivos baseados na EC, em dezembro de 2015, a União Européia lançou o “Acordo Verde de Economia Circular”. Estavam contidas no pacote atividades para: reduzir o lixo alimentar e melhorar o design ecológico; e para promover a reparação, durabilidade, reciclagem e a reutilização dos produtos (EUROPEAN COMMISSION, 2015). De acordo com Guarnieri et al. (2023a), novos modelos de produção e consumo que contemplam as dimensões social, ambiental e econômica da sustentabilidade tem sido desenvolvidos como consequência do aumento da quantidade de recursos escassos e impactos ambientais. Dentre estes modelos podemos citar a avaliação do ciclo de vida e a análise de fluxo de matérias, que são tidas como base para a EC (SAIDANI et al., 2019; PEÑA et al., 2021; MILLETTE; WILLIAMS; HULL, 2019).

No decorrer dos últimos anos observou-se na literatura uma crescente utilização da ciência de dados nas mais diversas áreas do conhecimento (AGRAWAL et al., 2022). Isso se dá, devido sua capacidade de usar métodos científicos como estatística aplicada, algoritmos e sistemas de extração de conhecimento, a partir de bases de dados diversas. No âmbito da sustentabilidade e EC a ciência de dados é uma ferramenta de grande valia pois pode ser usada para prever fluxos de materiais, acelerar a produção de designs sustentáveis e otimizar a infraestrutura necessária para gerir recursos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019b).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo auxiliar na determinação das medidas de transição da EL para EC mais efetivas, por meio da avaliação das respostas de especialistas a um questionário.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento das metodologias de ciência de dados utilizadas para apoio a migração da economia linear para a circular na literatura;
- Desenvolver um estudo capaz de auxiliar o poder público e empresas na escolha das estratégias mais efetivas para migração da EL para a EC por meio da identificação e análise das estratégias com melhor e pior desempenho na percepção dos respondentes ao redor do mundo;
- Identificar dentre as medidas de migração aquelas com melhor desempenho em cada um dos subcritérios alvo do questionário base utilizado no estudo;
- Investigar possíveis divergências de percepção das medidas mais efetivas entre acadêmicos e profissionais da área;
- Identificar possíveis similaridades entre os grupos de respondentes;
- Investigar se há entre pesquisadores e profissionais vieses na avaliação das alternativas.

## 1.2 Justificativa e relevância

Apesar da PNRS estar em vigor, o Brasil ainda possui impasses que o impedem de prosseguir com um desenvolvimento mais sustentável. Para isso, é possível espelhar-se em países que possuem relevância nesse tipo de desenvolvimento e adotar políticas aplicadas nos mesmos. Um país que se destaca mundialmente na questão de sustentabilidade é a Dinamarca. Segundo *Environmental Performance Index (EPI)*, Índice de Desempenho Ambiental produzido por pesquisadores da Universidade de Yale e em parceria com a Universidade de Columbia, ambas nos Estados Unidos, a Dinamarca ocupa o 1<sup>o</sup> lugar quanto a prática de políticas verdes que ajudam com os desafios socioambientais enfrentados pelo mundo, enquanto o Brasil detém a 81<sup>o</sup> posição (UNIVERSITY, 2022). Dentre estas políticas verdes, tem-se destacado a obrigatoriedade de registrar a quantidade de lixo coletado, seu adequado tratamento e o investimento na conscientização da população (PARAJULY; HABIB; LIU, 2017). No entanto, para maior efetividade na transição para EC, é também necessário focar nas medidas de transição mais efetivas.

De acordo com (KRISTOFFERSEN et al., 2019b), o uso da ciência e análise de dados têm se destacado nas organizações que buscam explorar como usar seus enormes volumes de dados para criação de valor e acelerar a adoção de conceitos de Economia Circular (EC). Desta forma, o presente trabalho busca identificar políticas públicas para viabilizar a transição para a economia circular, utilizando-se da técnica de mineração de dados: CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*). Resultados promissores desta abordagem foram vistos em Silva et al. (2023), onde obteve-se um ranking das medidas de migração.

Para analisar as medidas de migração para EC foi desenvolvido um questionário com base na revisão da literatura, que levantou as principais estratégias e critérios relacionados a transição para a economia circular. Este questionário foi desenvolvido através de um projeto financiado pelo CNPq, nr. 304948/2020-9, intitulado: “Institucionalização de estratégias para a transição para a economia circular comparando países desenvolvidos e em desenvolvimento: Um modelo multicritério de apoio à decisão”, sob coordenação da professora Dra. Patricia Guarnieri dos Santos (UnB). Na construção da base, foram realizados procedimentos de validação semântica e estatística, utilizando-se, entre outras técnicas: Alfa de Cronbach, índice de Kaiser-Meyer-Okin e teste de esfericidade de Bartlett (GUARNIERI et al., 2023b).

### 1.3 Organização do trabalho

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos, os quais estão subdivididos conforme descrito a seguir. O primeiro capítulo se trata da presente introdução, onde traz-se o contexto da pesquisa, a motivação da escolha do tema, justificativa e relevância do assunto, os objetivos gerais e específicos, e também a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo traz o referencial teórico e a revisão da literatura acerca da sustentabilidade e os principais conceitos do uso de ciência de dados para o estudo da economia circular.

No terceiro capítulo apresenta a metodologia empregada no trabalho, mostrando desde a obtenção dos dados utilizados e as ferramentas, bibliotecas, modelagens e métodos aplicados para construção dos resultados apresentados no trabalho.

No quarto capítulo estão contidos os resultados obtidos após a preparação, modelagem e análise dos dados na forma de tabelas e gráficos diversos. Nesta mesma seção também são apresentados discussões acerca dos resultados obtidos nos testes realizados.

No quinto capítulo estão contidas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas contidas ao longo do trabalho e o anexo, contendo os códigos em Python utilizados para organização dos dados.

## 2 Base conceitual e fundamentação teórica

### 2.1 Economia linear

Desde os acontecimentos que marcaram a crise do petróleo nos anos 70, começaram a surgir dúvidas a cerca do estilo de vida no ocidente, devido as dificuldades de suprimento energético que emergiram no período. Pouco depois da crise do petróleo, em 1972 foi escrita a obra *The Limits to Growth*. Na obra, tida como uma das mais importantes do século XX (MEADOWS DENNIS L. MEADOWS, 1972), destacou-se que um crescimento linear infinito seria impossível, uma vez que o mundo possui recursos finitos. No entanto, o crescimento do consumo de matérias-primas aliou-se à precepção do aumento da qualidade de vida (BONCIU, 2014).

Com o advento da Revolução Industrial, o conceito de economia linear foi atrelado a modalidade de produção fabril. Sendo assim, a economia linear é o modo de produção baseado na extração e consumo crescente de recursos naturais (LEGNAIOLI, 2023). Com o passar dos anos, este modelo de consumo vem se tornando cada vez mais inviável, uma vez que a biocapacidade de regeneração dos recursos naturais do planeta foi ultrapassada, como mostra a Figura 1.

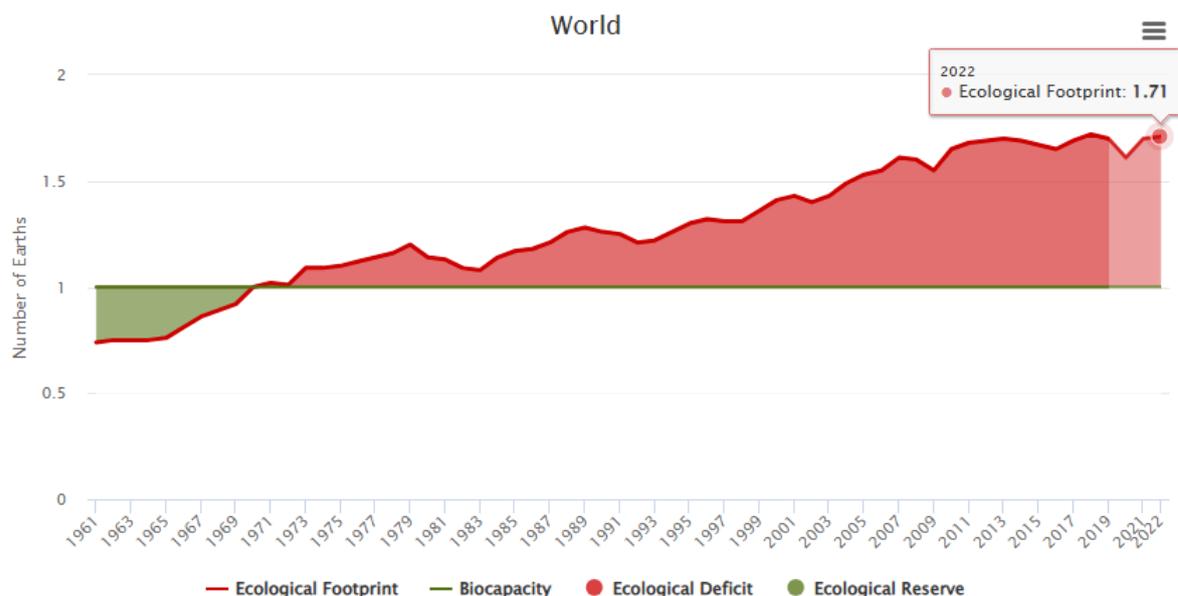


Figura 1 – Gráfico do consumo energético do planeta em termos da sua biocapacidade.  
Fonte: Network (2023)

Ainda pela Figura 1, percebemos que no início dos anos 70 o consumo de recursos do planeta começou a superar a sua biocapacidade, chegando em 2022 ao número de 1,71 terras consumidas anualmente. Em 2008, a revista *Global Footprint Network* publicou uma matéria onde os pesquisadores estimaram que este número chegará a 3 no ano de 2050, considerando um aumento moderado no consumo de recursos (NETWORK, 2012).

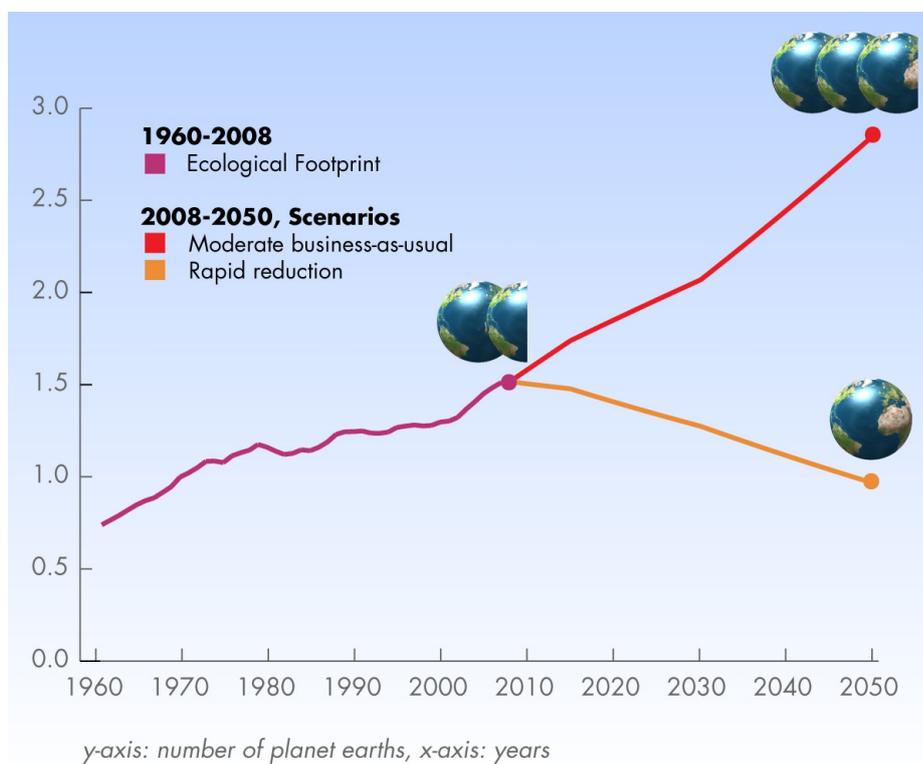


Figura 2 – Prospecção do consumo de matérias-primas globais até 2050  
Fonte: Network (2012)

Devido a insustentabilidade do modelo corrente de produção adotado, começaram a ser desenvolvidas e estudadas outras modalidades de produção, com um pensamento mais consciênte acerca do consumo de matérias-primas e recursos naturais, também visando todo o ciclo de vida dos produtos. Dentre estes modelos, a economia circula vem sendo cada vez mais difundida e entendida como possível solução.

## 2.2 Economia circular

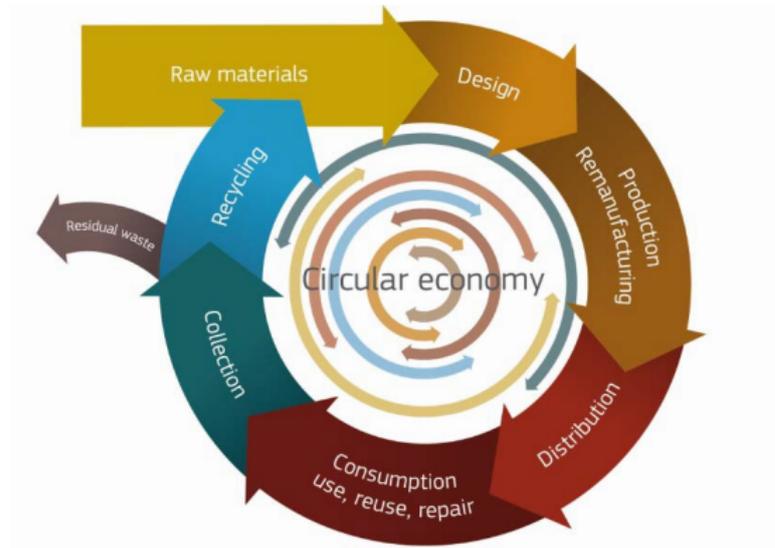


Figura 3 – Infográfico dos aspectos da economia circular  
Fonte: EUROPEAN COMMISSION (2010)

O pioneiro na implementação da EC foi o empresário Ray Anderson, em sua indústria de carpetes. O autor publicou o clássico: “Mid-Course Correction”, onde após compreender a nocividade ambiental de sua própria fábrica, propôs uma mudança radical em seus modos de produção e também uma nova visão para as empresas. Nesta visão, as empresas deveriam não trazer prejuízos para sociedade nem para o meio ambiente (ANDERSON, 1998). O modelo proposto por Ray funciona, pelo simples fato de ser baseado no mais puro funcionamento do universo, baseado nas leis termodinâmicas de preservação da energia e entropia. Essa construção nos leva a refletir acerca do impacto das nossas ações a curto e longo prazo (GARDETTI, 2019).

A economia circular é baseada em quatro princípios da natureza (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; WEETMAN, 2016). Estes podem ser descritos como:

- **Resíduos como nutrientes:** na natureza, os resíduos e restos tornam-se fonte de nutrientes para o solo e outros seres vivos, como microorganismos. Para bens de consumo, esse fenômeno pode ser adaptado, realizando um reprojeto dos produtos visando tanto sua reutilização como também a extensão de sua durabilidade;
- **Resiliência:** a resiliência pode ser vista na natureza a partir da sua persistência mesmo em meio as mudanças no ecossistema - seja por motivos naturais ou inter-

venção humana (BATABYAL, 2023). Na economia circular, a resiliência pode ser refletida a partir da sua adequação nos mais diversos cenários e modos de produção;

- **Energia renovável:** assim como na natureza o ecossistema subsiste na coexistência entre os seres, na EC deve-se criar um sistema em que haja colaboração entre as partes do processo produtivo, por meio de um fluxo de ideias, recursos e informações. Todos com base no uso de energias renováveis;
- **Sistêmico:** as ações de EC desenvolvidas devem servir de exemplo para outras economias, culturas e sociedades.

Visando a redução de custos de produção e aumento da eficiência produtiva, a economia linear foca na produção em massa. Para que este ritmo de produção tenha destino, são realizados grandes investimentos em marketing afim de acelerar o nível e quantidade de consumo dos produtos. Em contrapartida, a economia circular emula os princípios da natureza, visando a produção de produtos sustentáveis (GULLINGSRUD; PERKINS, 2015).

O termo economia circular, apesar de recente, pode ser confundido com algumas práticas de conscientização ambiental aplicadas no passado. No próximo tópico, elucidaremos a distinção entre estas práticas e a economia circular.

## 2.3 Distinção entre a economia circular e demais medidas de mitigação de impactos ambientais

Com o passar dos anos, houveram outras tentativas de redução do consumo de energia e de matérias nos processos produtivos, como também de reduzir a poluição, no entanto, estas medidas diferem da economia circular por alguns aspectos (BONCIU, 2014).

- O primeiro aspecto tem haver com a **abordagem holística** que caracteriza a economia circular. Ela começa com o design dos produtos, serviços e processos. Esses três precisam ser desenvolvidos de forma que sejam duráveis, reparáveis e melhoráveis, afim de que sejam remanufaturados ou reciclados até mesmo por demais indústrias, além da sua de origem. Isso difere da economia circular, que em geral, tende apenas

a pensar na possibilidade de reciclagem dos seus produtos, enquanto na economia circular, o pensamento estende-se para um aumento da vida útil dos bens, possibilidade de remanufatura e reciclagem. Em suma, os produtos gerados nesse modelo produtivo, possuem maior durabilidade, são reparáveis e melhoráveis;

- O segundo aspecto diz respeito a **escala** em que as companhias depende do reuso, reciclagem e remanufatura durante suas atividades produtivas. O aumento da escala desse tipo de abordagem gera uma menor necessidade materiais brutos e energia. No entanto, para obter-se sucesso é necessária uma grande rede de colaboração entre empresas de diferentes setores, e também dos consumidores;
- Para o autor, o terceiro aspecto trata da necessidade do amadurecimento de uma **legislação específica e quadro institucional** direcionado a regulamentações que integrem aspectos financeiros e sociais;
- O quarto aspecto trata da necessidade de seleção e desenvolvimento de indicadores específicos para permitir a implementação e monitoramento da economia circular. Alguns desses são: produto interno bruto (PIB)<sup>1</sup>, consumo de matérias primas (RMC)<sup>2</sup>, uso de água e uso de recursos finitos (EUROPEIA, 2014).

A partir do conhecimento adquirido acerca da economia circular traçaremos uma paralelo entre ela e a sustentabilidade a seguir.

## 2.4 Sustentabilidade e Economia Circular

No contexto histórico sobre a questão de sustentabilidade, um marco importante no caminho do desenvolvimento sustentável foi a Conferência de Estocolmo (*UN Conference on the Human Environment*) que ocorreu no ano de 1972, onde se percebeu a necessidade de repensar a relação do ser humano com o planeta. (MIKHAILOVA, 2004). Desde então, o conceito de sustentabilidade foi expandido, não apenas na questão ambiental, mas também na busca do equilíbrio entre desenvolvimento econômico, social e ambiental, atendendo as necessidades atuais, sem comprometer as gerações futuras.

<sup>1</sup> O PIB é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, geralmente em um ano. Todos os países calculam o seu PIB nas suas respectivas moedas (ESTATISTICA, 2023).

<sup>2</sup> É um indicador que mede (em toneladas) a totalidade dos recursos de materias utilizados na economia, tenso simultaneamente em conta a utilização de recursos integrada nas importações. A sigla RMC vem do inglês *Raw Materials Consumption*.

Por mais que o desenvolvimento sustentável esteja em evidência, as indústrias e empresas do mundo todo enfrentam desafios quanto às estratégias e propostas de valor a serem tomadas afim de alcançar esse objetivo. Dessa forma, a Economia Circular (EC) tem se destacado como uma solução promissora para abordar os desafios do desenvolvimento sustentável (GEISSDOERFER et al., 2018). Trata-se de uma alternativa ao atual modelo linear que é adotado por indústrias, que se caracteriza pelo ‘extrair-produzir-descartar’ (*‘take-make-dispose’*), que tem causado problemas, como por exemplo, a volatilidade nos preços dos recursos, por conta de sua alta extração (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013a).

O conceito de EC surgiu na década de 70 associado a aplicação de modelos de cadeia produtiva mais sustentável, onde as matérias-primas utilizadas para a produção são elaboradas para circular de forma eficiente, podendo ser realocadas para produção, sem perder sua qualidade (AZEVEDO, 2015). Por mais que não seja recente, esse conceito só tomou maior visibilidade na última década através da Fundação Ellen MacArthur, que fortaleceu discussões sobre o tema (MARQUESONE; JUNIOR; CARVALHO, 2022).

Através da EC, os materiais são reaproveitados em cadeia de forma cíclica, onde são mantidos por mais tempo e recuperados para reuso. Dessa forma, eles são revalorizados, trazendo ganho de competitividade para as empresas, por meio da redução de custos e geração de valor, tendo como consequência positiva, a sustentabilidade (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018).

Segundo ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2023), a EC se baseia nos seguintes princípios: 1) **Promover a eficácia do sistema**, eliminando as externalidades negativas; 2) **Circular produtos, componentes e materiais** (no seu valor mais alto), que significa otimizar o rendimento dos recursos, promovendo mais utilidades em todo o seu ciclo de vida e no final dele; 3) **Regenerar a natureza**, preservando e aprimorando o capital natural, controlando a utilização de recursos finitos e equilibrando o fluxo dos recursos renováveis.

Vale ressaltar que a EC está muito alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), visto que está baseada em reconhecer a escassez e a finitude dos recursos, propor novos padrões de produção e consumo, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos (GUARNIERI et al., 2023a). Enquanto isso, os ODS visam construir

infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável, fomentar a inovação, buscando garantir padrões de produção e consumo sustentáveis (ONU, 2022).

Recentemente, com o advento da ciência de dados e avanço nas pesquisas acerca do tema, autores ao redor do mundo passaram a implementar a ciência de dados no contexto da EC.

## 2.5 Ciência de Dados e Economia Circular

Com o passar dos anos e o avanço da tecnologia, uma grande variedade e volume de dados foram surgindo. Nisso, as tecnologias digitais, incluindo a Internet das Coisas (IoT), Big Data e Inteligência Artificial, surgiram e estão desempenhando um papel fundamental na produção industrial, impulsionando uma mudança paradigmática conhecida como Indústria 4 (KRISTOFFERSEN et al., 2019a).

Segundo (PRIOUX et al., 2023), as estratégias de Economia Circular (EC) abrangem uma ampla gama de abordagens que estão relacionadas aos processos operacionais e modelos de negócios. Essas estratégias incluem a restauração de recursos, a redução do consumo, a recirculação de materiais e a prevenção de resíduos. Porém, para aproveitar ao máximo as estratégias digitais e as ofertas de valor, as empresas precisam adotar uma cultura orientada por dados. Disto isto, para auxiliar tomada de decisão para essas estratégias, (JANSSEN; van der Voort; WAHYUDI, 2017) afirmam que a qualidade não dependem apenas dos dados, mas também da sua coleta e de como eles são processados (papel desempenhado pela ciência de dados).

No contexto de economia circular, a ciência de dados desempenha um papel fundamental, permitindo uma análise abrangente e precisa dos padrões de produção, consumo e descarte, revelando *insights* que auxiliam na otimização do uso de recursos e na redução de desperdícios. Na literatura, são abordadas metodologias de ciência de dados que demonstram eficiência na aplicação na EC (como CRISP-DM e Machine Learning (ML)) ((KRISTOFFERSEN et al., 2019a), (PRIOUX et al., 2023)).

Além das ferramentas de aprendizado de máquina comentadas ao longo deste tópico, vem-se utilizando da metodologia CRISP-DM no contexto da EC.

## 2.6 Economia circular e CRISP-DM

A metodologia CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*) é capaz de possibilitar a extração informações a partir de quaisquer bases de dados, seguindo as etapas de entendimento do problema, entendimento dos dados, preparação dos dados, modelagem, avaliação e implementação (WIRTH; HIPPEL, 2000).

Essa metodologia, vem sendo bastante utilizada nas organizações para fins econômicos, gerando ganhos de performance, redução de gastos e otimização de processos. No entanto, seu alcance não se limita apenas aos usos comerciais, podendo ser aplicada para sustentabilidade (WALLER; FAWCETT, 2013; MCAFEE et al., 2012).

Em Kristoffersen et al. (2019c) autores discutem como as organizações podem estruturar devidamente as etapas de entendimento e preparação dos seus dados, por meio do CRISP-DM, para alinharem os seus objetivos de negócio, com as metas da EC. Os autores ainda propõe que para a problemática de EC, pode-se adicionar ao framework as etapas de validação dos dados e análise de perfis, para endereçar a falta de gerenciamento capacitado para lidar com as metas da EC.

A necessidade do uso da inteligência artificial e mineração de dados também é discutida no cenário mundial, no entanto, ainda existe uma lacuna de trabalhos que implementem diretamente as ferramentas de ciência de dados e mineração no âmbito da EC (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019a).

O uso do CRISP-DM torna-se uma solução para iniciarem-se os estudos na área, tendo em vista que pode nortear os pesquisadores na obtenção de informações pertinentes às empresas. Associado ao CRISP-DM, podem ser utilizadas ferramentas estatísticas como ferramentas de modelagem e de geração de relatórios.

## 2.7 Ferramentas de análise e visualização de dados

### 2.7.1 Diagrama de caixa

O diagrama de caixa (popularmente conhecido como *Boxplot*) é utilizado para refletir as propriedades de uma amostra ou conglomerado de dados. “Ele inclui a amplitude interquartílica dos dados em uma caixa que tem mediana mostrado dentro dela. A am-

plitude interquartílica tem como seus extremos o 75<sup>o</sup> percentil (quartil superior) e o 25<sup>o</sup> percentil (quartil inferior)” [...] (MYERS, 2009), como podemos ver na Figura 4.

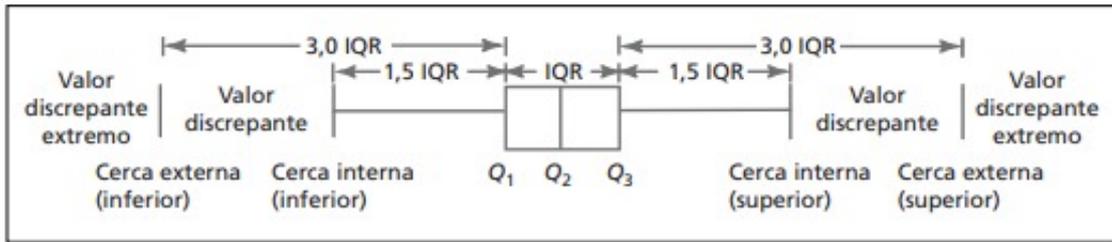


Figura 4 – Intervalos de amplitude interquartílica  
Fonte: Doane, 2014

Além da exibição dos percentis em forma de caixa, o gráfico conta com duas semi-retas, que representam as observações extremas na coleção de dados. Com isso, temos uma visualização capaz de refletir a variabilidade e o grau de assimetria dos dados de acordo com o deslocamento da caixa para com o centro do gráfico. Além disso, pontos fora da curva são exibidos, fora dos limites das semi-retas em forma de bigode (Figura 5).

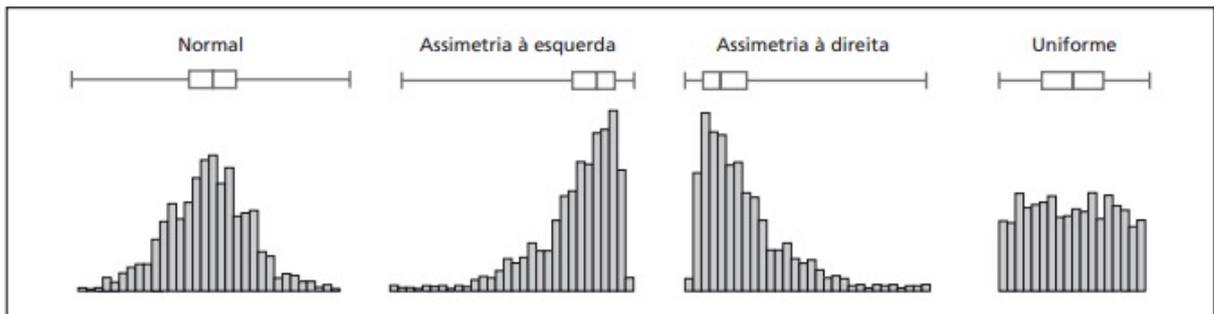


Figura 5 – Amostra de box-plots de quatro populações ( $n = 1.000$ )  
Fonte: Doane, 2014

### 2.7.2 Amplitude interquartílica

A amplitude interquartílica pode ser usada para definir quais observações dentro do conjunto de dados podem ser consideradas como pontos discrepantes, ou anômalos. Um ponto é tido como discrepante, quando supera o valor interquartil em 1,5 vezes, em qualquer direção. O cálculo da amplitude interquartil se dá pela diferença entre o valor do terceiro quartil e do primeiro quartil.

### 2.7.3 Estatística não paramétrica e inferência

As ferramentas de estatística descritiva e inferência estatística são excelentes para descrever um conjunto de dados e obter informações gerais acerca deste. No entanto, para que seja possível testar hipóteses levantadas ao longo de pesquisas, faz-se necessário o uso da inferência estatística. Para nosso caso, faremos uso desta por meio de ferramentas não paramétricas, as quais serão elucidadas a seguir e na metodologia deste trabalho.

#### 2.7.3.1 Teste de Shapiro-Wilk

O teste de Shapiro, pode ser utilizado para determinar se uma base de dados segue ou não uma distribuição normal (RAZALI; WAH, 2011). O teste tem como hipótese nula ( $H_0$ ), que os dados segue uma distribuição normal, e como alternativa, o contrário (MYERS, 2009). Este teste vem ao longo dos anos se tornando um dos mais utilizados pelos pesquisadores, devido sua praticidade de aplicação e Poder<sup>3</sup> (MENDES; PALA, 2003).

Em sua primeira formulação, o teste de shapiro era restrito a amostra de até 50 entidades (SHAPIRO; WILK, 1965). Em sua formulação original, tinha-se,

$$\frac{\sum_i (a_i * y_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.1)$$

onde  $y_i$ , são os dados da amostra ordenados,  $\bar{y}$  representa a média da amostra,

$$a_i = (av'Un) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} \quad (2.2)$$

e  $m = (m_{11} \dots, m_{nl})$  são os valores esperados das estatísticas de ordem de variáveis aleatórias independentes e idênticamente distribuídas amostradas a partir da distribuição normal padrão e  $V$  é a matriz de covariância dessas estatísticas de ordem.

Sabendo-se que para uma base de dados ser considerada paramétrica ela necessita respeitar quatro pressupostos (normalidade, independência dos dados amostrais, homogeneidade da variância e os dados terem intervalo) (JAIN; GUPTA; JAIN, ). O teste de Shapiro tornou-se uma alternativa para determinar se um conjunto de dados será não-paramétrico, pois em caso de rejeição de  $H_0$ , o pressuposto da normalidade é derrubado (MENDES; PALA, 2003)(Devid Fisher).

<sup>3</sup> O poder de um teste de hipótese binário é a probabilidade de que o teste rejeite corretamente a hipótese nula ( $H_0$ )

### 2.7.3.2 Teste dos postos sinalizados de Wilcoxon

O teste dos postos sinalizados de Wilcoxon, também conhecido como teste de Wilcoxon, pode ser utilizado em dados não-paramétricos para determinar estatisticamente se duas amostras dependentes possuem mesmo valor de mediana, no teste bilateral; ou ainda se alguma delas possui mediana superior a outra, com os testes bilaterais a esquerda e direita.

Como pressupostos para realização do teste, os dados precisam estar ordenados, serem não-paramétricos e pareados<sup>4</sup>. Após a ordenação, são calculados os valores dos postos positivos e negativos, gerando-se uma ordenação dos postos. A depender do tipo de teste a ser feito, serão utilizados os valores dos postos positivo, negativos ou a soma destes (MYERS, 2009). A formulação da estatística de teste se apresenta da seguinte forma:

$$z_{calc} = \frac{W - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (2.3)$$

onde  $n$ , representa o tamanho da amostra e  $W$ , representa a soma dos postos positivos.

Em Buil et al. (2017) os autores desejavam provar os efeitos positivos da conscientização infantil acerca da economia circular, por meio da condução e análise de um questionário aplicado em duas etapas: uma posterior a um workshop realizado em diferentes escolas espanholas; e outro após o workshop, ambos com crianças entre 8 e 12 anos. Por meio do uso do teste dos postos sinalizados de Wilcoxon provou que houve incremento no conhecimento das crianças após o workshop.

Por meio do teste de Wilcoxon, dentre outros exemplos também encontramos na literatura Zhidebekkyzy et al. (2024) que aplicou o teste no âmbito do relacionamento com *stakeholders* (partes interessadas) no desenvolvimento das políticas de economia circular no Cazaquistão.

### 2.7.3.3 U de Mann Withney

O teste U de Mann Withney, também conhecido como soma dos postos de Wilcoxon, de modo similar ao teste de Wilcoxon, possui como pressupostos que os dados das

<sup>4</sup> Para amostras pareadas, existe relação de dependência entre os dados

amostras sejam não paramétricos e ordenados, no entanto, as amostras precisam ser não pareadas<sup>5</sup>. Temos a seguinte formulação da estatística de teste para amostras grandes (com mais de 30 observações), conforme Seward e Doane (2014),

$$Z_{calc} = \frac{\bar{T}_1 - \bar{T}_2}{(n_1 + n_2) \sqrt{\frac{n_1 + n_2 + 1}{12n_1n_2}}} \quad (2.4)$$

onde T representa o valor da média dos postos para cada amostra e n, representa o tamanho das amostras.

Em seu artigo Wilkinson e Williams (2020) buscaram compreender os efeitos do comportamento dos consumidores no acúmulo do lixo eletrônico através da aplicação de um questionário em Southampton (Reino Unido). Durante suas análises, foi utilizado o teste U de Mann Withnney para comparar as respostas de respondentes de grupos etários distintos (independentes). O teste revelou que grupos mais jovens tendem a acumular mais eletrônicos usados devido aos altos custos de novos produtos e a falta de consciência ambiental por parte dos mesmos.

#### 2.7.4 Visualização de dados: Heatmap, gráficos de radar e *Sunburst*

No âmbito empresarial a agilidade nos processos decisórios e a transformação digital são cruciais para que uma organização se mantenha competitiva. Por esse motivo, profissionais da área de análise de dados vêm sendo cada vez mais requisitados, tendo em vista suas habilidades de processamento de dados e geração de informações de fácil compreensão que auxiliam tanto no processo decisório, quanto na adequação à transformação digital (ADDO-TENKORANG; HELO, 2016; AGRAWAL; NARAIN; ULLAH, 2020). Estes profissionais se fazem valer de diversas técnicas e softwares refinados de visualização de dados (tais como Tableau, PowerBI, etc) para condensarem grandes volumes de dados em relatórios gráficos e interativos, que auxiliam os gestores na tomada de decisão.

Mesmo com o robustecimento de técnicas de aprendizado de máquina e redes neurais, as visualizações de dados ainda são capazes de facilitar a compreensão entre as correlações existentes entre diferentes atributos de uma coleção de dados, revelar oportunidades e percas, e ainda outras aplicações (ITOH et al., 2017).

---

<sup>5</sup> Em uma amostra não-pareada, não existe relação de dependência entre os dados

Em Keena et al. (2023), utilizam-se da visualização de dados para lidarem com a falta de dados padronizados no âmbito da construção de edificações residenciais, tais como o ciclo de vida das edificações e sobre o fornecimento de materiais. Como produto final, construíram uma interface online com informações acerca do consumo energético aproximado e emissões de carbono nas construções.

#### 2.7.4.1 Heatmap

Os gráficos de mapa de calor (*Heatmaps*) são vastamente utilizados em dados estruturados em forma matricial para revelar padrões compartilhados entre subgrupos nas colunas e linhas destes dados (GU, 2022). Esse tipo de visualização é utilizado em diversos campos do conhecimento (Figura 6).

As primeiras utilizações dos *Heatmaps* podem ser vistas desde o século XIX, para visualizar diferenças estatísticas nos distritos de Paris (WILKINSON; FRIENDLY, 2009). Na bioinformática, o vemos desde os anos 90 sendo utilizado como ferramenta padrão para visualização de expressões genéticas (EISEN et al., 1998). No campo da EC, o vemos sendo utilizado de forma conjunta com outras visualizações, como em Tavana et al. (2022), onde os autores o utilizam em conjunto com núvens de palavras e grafos, ou ainda em Addo-Tenkorang e Helo (2016) com gráficos de coordenadas paralelas.

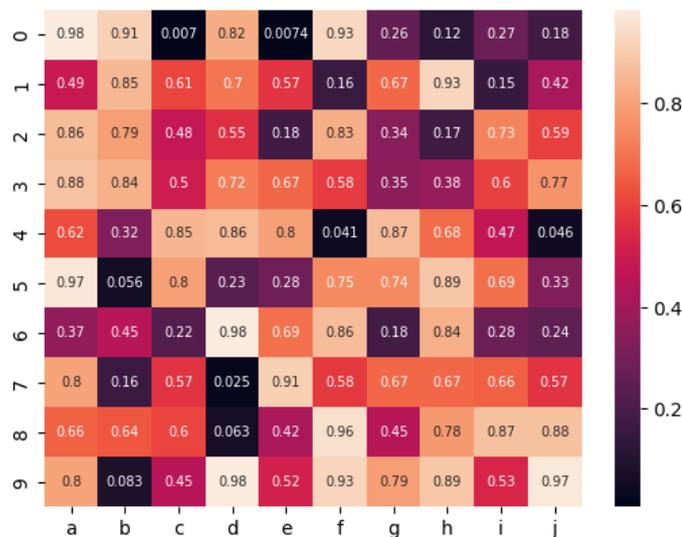


Figura 6 – Gráfico de mapa de calor genérico

Fonte: Python Graph Gallery

### 2.7.4.2 Radar Chart

Os gráficos de radar (*Radar Charts*) permitem a visualização de uma ou mais séries de valores de variáveis distintas. Cada variável possui determinado eixo, sendo todos estes ligados a um mesmo centro.

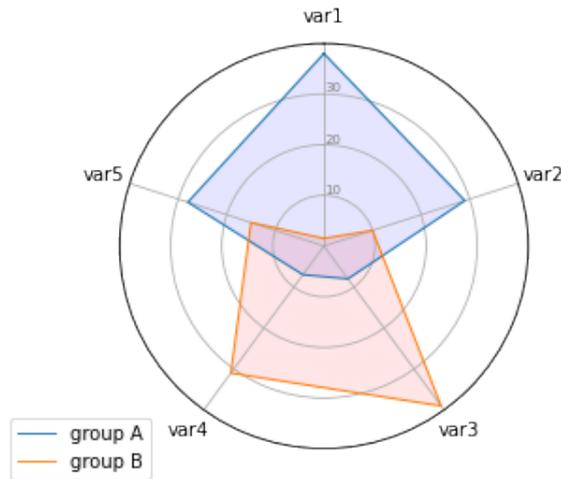


Figura 7 – Gráfico de radar genérico  
Fonte: Python Graph Gallery

Dentro do contexto de economia circular, os autores em Zhang et al. (2021) fizeram uso do gráfico de radar para avaliar a abrangência dos métodos de classificação de resíduos sólidos com base cinco critérios, nos diferentes países alvo do estudo. Com o gráfico, possibilitou-se condensar informações contidas em múltiplas tabelas, em uma única visualização.

### 2.7.4.3 Sunburst

O gráfico de explosão solar (*Sunburst*) permite a visualização de dados hierárquicos de forma radial, onde estes podem ser distribuídos de acordo com uma ordem pré-estabelecida (SCHOUTEN et al., 2023).

Em Magazzino, Mele e Schneider (2020), os autores avaliaram a relação entre a geração de lixo municipal e a emissão de gases de efeito estufa na Suíça, onde utilizou-se do gráfico de explosão solar na avaliação de erros nos modelos.

## 3 Metodologia

Para este trabalho, utilizou-se da metodologia CRISP-DM para extração de conhecimento a partir da base de dados em análise (Fig. 8). A fase inicial, de “Compreensão do Negócio” foi realizada na secção de introdução, as demais serão realizadas nas subsecções a seguir. Desde as etapas de pré-processamento até as de análise do presente trabalho, todas foram desenvolvidas na linguagem de programação Python (na versão 3.12).

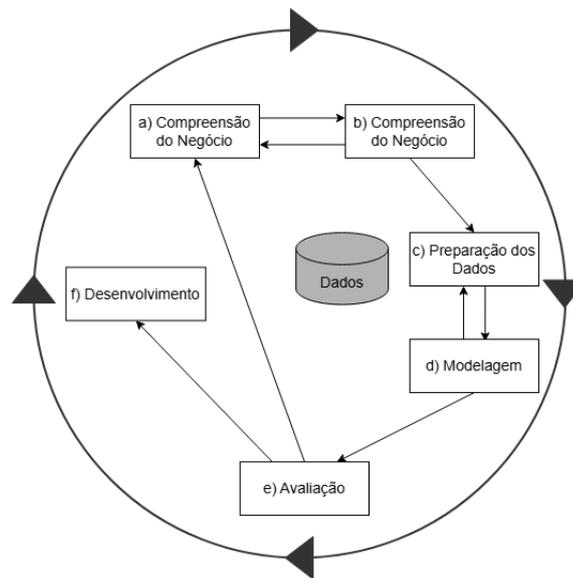


Figura 8 – Esquema da abordagem CRISP-DM

### 3.1 Entendimento do Problema

Esta sessão do trabalho se equivale a primeira etapa do CRISP-DM, “Compreensão dos Dados”, onde realiza-se uma visão geral acerca da base de dados e o contexto onde estão inseridos, afim de gerar uma espécie de dicionário dos dados.

O questionário utilizado na análise foi elaborado com base na revisão da literatura, que levantou as principais estratégias (24 medidas) e critérios (10) relacionados a transição para a economia circular, sendo validado semanticamente por experts na área e estatisticamente, por testes como: Alfa de Cronbach (0.989), índice de Kaiser-Meyer-Okin (0.859) e teste de esfericidade de Bartlett ( $X^2 = 89,039.827$ ,  $p < 0.001$ ) (GUARNIERI et al., 2023b). O questionário foi aplicado em 24 países, coletando um total de 352 respostas de profissionais e especialistas de diversos segmentos e cargos.

As medidas avaliadas foram: Colaboração entre empresas (01), Diretrizes de gestão de resíduos (02), Logística reversa (03), Closedloop (reúso, reparo, recondicionamento, remanufatura e reciclagem) (04), Acordos setoriais (05), Inclusão sócioprodutiva (06), Incentivos suporte financeiro e medidas fiscais (07), Engajamento de stakeholders (08), Simbiose industrial (09), Parcerias com organizações de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (10), Roadmap (roteiro) para a economia circular (11), Ecocidades ou cidades circulares (12), Incentivos à micro, pequenas e médias empresas (MPE) (13), Política de produto sustentável (14), Compras verdes e/ou sustentáveis (15), Regulação (16), Ecoinovação e ecodesign (17), Criação/geração de empregos (18), Economia compartilhada (*sharing economy*) (19), Obtendo valor da biomassa (20), Reúso da água (21), Eficiência energética (22), Redução de perdas e desperdício de alimentos (23) e Gerenciamento de resíduos de construção & demolição (C&D) (24).

Os critérios usados para cada uma das alternativas foram: está em conformidade com os regulamentos regionais e nacionais (C1); ajuda a aumentar a aceitação pública da economia circular (C2); aumenta a absorção da força de trabalho regional (C3); previne o descarte incorreto de resíduos (C4); contribui para a preservação do meio ambiente (C5); tem um custo para a implementação (C6); tem um custo para ser mantida em operação (C7); tem dificuldade de implementação, devido ao conhecimento, tecnologias e soluções necessárias (C8); tem obstáculos, com base nas características regionais específicas (C9); tem o potencial de permanecer constante, considerando principalmente os requisitos de manutenção relativos ao pessoal especializado e a simplicidade das operações (C10). Para avaliar os desempenhos foi utilizada uma escala Likert, variando de "Discordo totalmente" até "Concordo totalmente". Os critérios de avaliação também estavam subdivididos em quatro grupos, social, ambiental, econômico e técnico. O pertencimento a cada subgrupo e detalhamento sobre os critérios, estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos critérios e dps subgrupos a que pertencem

Categoria		Critério	Descrição
Social	C1	Está em conformidade com os regulamentos regionais e nacionais	O grau em que a estratégia da economia circular ajuda a cumprir as regulamentações regionais e nacionais
	C2	Ajuda a aumentar a aceitação pública da economia circular	Até que ponto a alternativa ajuda a aumentar a aceitação pública das estratégias da economia circular
	C3	Aumenta a absorção da força de trabalho regional	
Ambiental	C4	Previne o descarte incorreto de resíduos	O grau em que esta alternativa aumenta o número de resíduos recolhidos e impede a sua eliminação indevida
	C5	Contribui para a preservação do meio ambiente	Redução do impacto negativo ao meio ambiente (redução do uso de água, energia, poluição, redução de combustíveis fósseis, redução do uso de terrenos)
Econômico	C6	Tem um custo para a implementação	O valor total dos custos incorridos para implementar a estratégia
	C7	Tem um custo para ser mantida em operação	O custo incorrido para manter esta estratégia operacional e garantir a sua manutenção
Técnico	C8	Tem dificuldade de implementação, devido ao conhecimento, tecnologias e soluções necessárias	Nível de dificuldade para implementar uma determinada ação devido aos conhecimentos, tecnologias e soluções necessárias
	C9	Tem obstáculos, com base nas características regionais específicas	Grau em que esta alternativa pode ser aplicada sem obstáculos, com base nas características particulares da região/país
	C10	Tem o potencial de permanecer constante, considerando principalmente os requisitos de manutenção relativos ao pessoal especializado e a simplicidade das operações	Grau em que esta opção tem potencial para permanecer constante e suave, como, por exemplo, ter requisitos de manutenção para pessoal especializado e simplicidade de operação

Fonte: Adaptado de (GUARNIERI et al., 2023a)

## 3.2 Preparação dos dados

Nesta etapa, foi realizada a seleção dos atributos de interesse para pesquisa, sendo uma etapa prévia às de preparações e pré-processamento dos dados. No conjunto completo de dados, dispunha-se de 247 atributos (representados como colunas no *dataset*), dos quais, foram removidos três por não apresentarem relevância para o estudo. O primeiro atributo excluído continha apenas respostas acerca da concordância em participar do estudo, para o qual todos responderam “Sim”; o segundo atributo continha uma explicação da escala Likert e o último registrava comentários acerca da pesquisa. As demais etapas de preparação serão descritas a seguir.

### 3.2.1 Padronização de escrita

Os dados contidos nos atributos que descreviam as profissões, áreas de atuação e porte das empresas em que os respondentes trabalhavam apresentavam conteúdos múltiplos nas células, o que dificultava as análises de perfil dos respondentes. Como artifício para padronização dos textos fez-se uso de compressões de listas em laços de repetição, um

artifício nativo da linguagem de programação Python, conhecido como *list comprehension*; e de outros algoritmos autorais.

Para padronizar as profissões, removeram-se os cargos com diversos detalhamentos após a atuação principal, mantendo apenas a descrição inicial do cargo. Em seguida, padronizou-se o setor de atuação, utilizando um algoritmo para remover os termos irrelevantes, devido à presença de múltiplos dados por célula e de elementos incomuns. Em seguida, simplificou-se a coluna da base de dados que registrava as posições hierárquicas, eliminando os detalhes irrelevantes dos cargos dos respondentes e mantendo apenas o termo central de cada cargo. Por fim, os portes das empresas foram ajustados como categorias por extenso, corrigindo as observações que continham números ou textos diferentes do padrão para a categoria adequada.

### 3.2.2 Transformação de dados categóricos para numéricos

Na etapa de modelagem dos problemas de ciência de dados geralmente são utilizados modelos matemáticos, que exigem que os dados inseridos estejam em formato numérico. Para esta finalidade foram desenvolvidos dois algoritmos para realizar a substituição das variáveis categóricas por numéricas. Estes foram:

- *Substituição de variáveis binárias*: o algoritmo varreu todas as observações que continham “Não” e “Sim” foram substituídas por 0 e 1, respectivamente;
- *Substituição da escala Likert*: No questionário base utilizado neste estudo, utilizou-se uma escala de cinco pontos para avaliar as observações dos participantes. Cada observação recebeu uma nota de 1 a 5, de acordo com o seguinte critério: 1 = Muito Baixo, 2 = Baixo, 3 = Neutro, 4 = Alto e 5 = Muito Alto. Essa escala nos permitiu quantificar e comparar as diferentes percepções dos participantes sobre o tema pesquisado.

### 3.2.3 Inversão de escala

Em avaliações quantitativas, os modelos matemáticos e estatísticos levam em consideração os valores contidos nas observações de forma direta e objetiva. No entanto, a existência de diferentes escalas nos dados fazem com que os cálculos realizados, apesar de matematicamente corretos, não representem a realidade devido aos vieses inseridos pelas

diferentes escalas. Em outras palavras, quando se opera matematicamente dois valores pertencentes a diferentes escalas, temos um resultado errôneo.

Na base de dados estudada, a maioria dos critérios de avaliação possuem sentido crescente, ou seja, quanto maior o valor da escala, melhor o desempenho do critério. No entanto, dentre estes critérios, quatro apresentam sentido invertido na escala Likert, ou seja, a avaliação “Concordo Totalmente” corresponde ao pior desempenho da escala neste critério, enquanto nos demais, representa o melhor desempenho. A questão é acentuada, uma vez que estes critérios são repetidos em todas as 24 alternativas. Sendo assim, possuímos 60% do *dataset* com sentido crescente das avaliações, e os demais com sentido decrescente.

Esses critérios foram: “Tem um custo para a implementação”, “Tem um custo para ser mantida em operação”, “Tem dificuldade de implementação, devido ao conhecimento, tecnologias e soluções necessárias” e “Tem obstáculos/barreiras, com base nas características regionais específicas”. Para padronizar, optamos por mudar a orientação destes critérios de decrescente para crescente, assim onde as avaliações foram 5 e 4, substituiu-se por 1 e 2, respectivamente; e vice-versa. O valor 3 foi mantido inalterado.

### 3.3 Modelagem e escolha de métodos de avaliação

Nesta etapa do nosso estudo, focamos na modelagem dos dados. Para isso, realizamos uma subdivisão em dois grupos distintos, por meio da biblioteca *Pandas*, da linguagem Python:

1. **Pesquisadores e Acadêmicos:** Este primeiro grupo é composto por profissionais que atuam no campo da pesquisa e do ensino acadêmico.
2. **Profissionais do Mercado de Trabalho:** O segundo grupo abrange aqueles que têm envolvimento direto ou indireto com a economia circular e atuam no mercado de trabalho.

Após essa classificação, obtivemos que o número de pesquisadores que participaram da pesquisa foi de 161, enquanto o de profissionais foi 191.

Levando em consideração que os dados utilizados neste trabalho são dados categóricos, com escala ordinal, temos indícios de que o uso de ferramentas de análise estatística

não-paramétricas serão mais adequadas. Para concretizar a suspeita realizamos um teste de Shapiro para determinação da normalidade dos dados, onde tem-se as hipóteses nula e alternativa, respectivamente:

- *H<sub>0</sub>*: Os dados seguem uma distribuição normal;
- *H<sub>1</sub>*: Os dados não seguem uma distribuição normal.

Como resultado do teste, para um nível de significância 0,05, encontramos uma estatística de teste igual a 0.909 e p-valor de  $4.941 \times 10^{-106}$ , sendo assim, descartamos a hipótese nula de que os dados seguem uma normal. Vemos também na Figura 9 a ausência de um formato gaussianico simétrico no histograma dos dados, salientando a necessidade do uso de técnicas não-paramétricas.

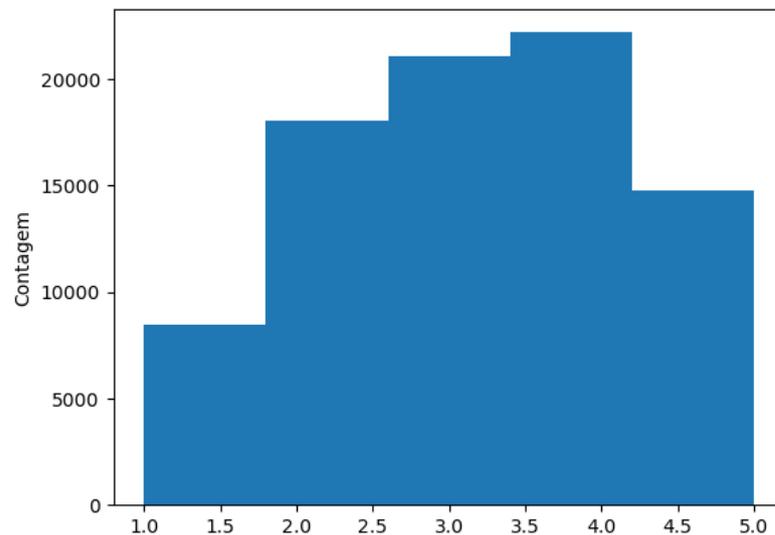


Figura 9 – Histograma geral dos dados

De posse destas informações, norteamos como se dará a abordagem estatística comparativa que utilizaremos no trabalho.

### 3.3.1 Análise estatística interquartil

Previamente aos testes de inferência estatística, será realizada uma análise interquartil das alternativas de migração, baseadas nos intervalos interquartil (IQR) das alternativas nos seus diversos critérios. O cálculo de será em duas etapas, que são:

- Cálculo do IQR para cada critérios em todas as alternativas, na forma:

$$IQR = \text{Terceiro quartil} - \text{Primeiro quartil} \quad (3.1)$$

- Média dos interquartis para cada alternativa. Cada um dos dez critérios de cada alternativa serão condensados através do cálculo de suas médias, por critério.

A média dos interquartis será utilizada neste trabalho como um indicador, que para simplificarmos chamaremos de IQR médio. Este indicador servirá como medida base para construção de um ranking inicial das medidas mais bem avaliadas, tendo em vista de que um valor de amplitude interquartilica maior indica uma distribuição dos dados mais próxima do valor máximo da escala utilizada.

### 3.3.2 Análise Estatística Comparativa: Abordagens Pareadas e Não Pareadas

Tendo em vista que foram estabelecidos pressupostos necessários para uso de estatística não paramétrica, avançamos para as abordagens pareadas e não pareadas em nossa pesquisa. Vamos explorar cada uma delas:

1. **Abordagens Pareadas:** Nas abordagens pareadas, concentramo-nos em avaliar o desempenho das medidas dentro de um mesmo conjunto de respondentes, divididos em dois grupos: acadêmicos e profissionais. Esse teste nos permitirá investigar as diferenças na percepção dos grupos de respondentes acerca de cada uma das medidas descritas no questionário. Para isso, utilizamos como ferramenta o Teste dos Postos de Wilcoxon, uma ferramenta estatística robusta para comparar amostras pareadas.
2. **Abordagens Não Pareadas:** Nos testes não pareados, realizamos uma comparação direta entre os dois grupos distintos: acadêmicos e profissionais. Utilizamos o Teste de Mann-Whitney, que é especialmente adequado para amostras independentes. Esse teste nos ajudará a identificar para qual grupo cada medida é mais bem avaliada, estatisticamente.

O cálculo das medianas, necessárias para realização dos testes de hipótese foram feitos com uso da função *median*, nativa da linguagem Python, aplicada às colunas do conjunto de dados.

### 3.3.3 Estruturação dos testes de hipóteses - Pareados

Nas abordagens pareadas, utilizaremos o Teste de Wilcoxon, pelo qual serão feitas comparações par a par entre as 24 alternativas para cada grupo de respondentes, separadamente, caracterizando assim um teste pareado. Para o questionário em questão, serão realizados um total de 552 testes para cada grupo (pesquisadores e profissionais). Uma mesma estruturação se repetirá para todos os testes, sendo a hipótese nula e alternativa, respectivamente:

$H_0$  : mediana da alternativa na linha  $\leq$  mediana da alternativa na coluna

$H_1$  : mediana da alternativa na linha  $>$  mediana da alternativa na coluna

A rejeição do teste de hipótese (quando o p-valor for menor que 0,05) significará que a alternativa da linha possui melhor desempenho que a alternativa da coluna.

Para os testes onde uma alternativa seria avaliada com ela mesma (na diagonal principal), será inserido o valor 1, tendo em vista que o Teste dos Postos de Wilcoxon não viabiliza este cálculo. Para realização dos cálculos utilizaremos a biblioteca *scipy.stats*, do Python, que possui o teste de Wilcoxon implementado.

### 3.3.4 Estruturação dos testes de hipóteses - Não Pareados

Nas abordagens não pareadas uma alternativa pertencente a um grupo de respondentes será comparada com todas as outras alternativas do segundo grupo. Desta forma, teremos um cenário com 576 testes, onde, diferente do caso anterior as diagonais principais consistirão no teste entre as medianas das percepções da alternativa  $i$  para os pesquisadores, com a mediana das percepções da alternativa  $i$  dos profissionais. Desta forma, todos os cálculos terão o seguinte teste de hipótese:

$H_0$  : Mediana da alternativa pesquisadores  $\leq$  Mediana da alternativa profissionais

$H_1$  : Mediana da alternativa pesquisadores  $>$  Mediana da alternativa profissionais

As alternativas representantes dos pesquisadores, estão postas nas linhas da matriz de resultado, enquanto alternativas contidas nas colunas representam os profissionais.

Dessa maneira, sempre que se encontrarem valores abaixo de 0,05 na célula da matriz, interpretaremos que a alternativa foi estatisticamente mais bem avaliada para os pesquisadores, caso contrário, para os profissionais.

## 4 Resultados e discussões

Nesta seção apresentaremos os resultados obtidos como uma etapa de “Análise” da metodologia CRISP-DM. De início, serão apresentadas nessa seção informações acerca do perfil dos respondentes, quanto a suas nacionalidades e ocupações. Em seguida, mostraremos como se comportam os critérios de avaliação das medidas de migração de acordo com cada subgrupo de critérios por meio de *Radarcharts*. Posteriormente, serão realizadas avaliações das medidas de forma condensada, com todos os critérios agregados. Inicialmente, com um indicador baseado nos intervalos interquartis, gerando um ranking inicial de avaliação das percepções dos respondentes; e por fim, através de testes pareados e não-pareados. Com o teste pareado será construído um ranking das medidas com melhor percepção para cada grupo de respondentes. Com os testes não-pareados, verificaremos se algum dos grupos de respondentes possuem tendências de atribuir notas mais altas que o outro.

Exibiremos os resultados dos testes pareados e não-pareados para melhor compreender as percepções dos entrevistados sobre as medidas de migração, afim de descobrir as quais são mais eficientes, para cada grupo estudado.

### 4.1 Perfil dos Respondentes

Para compreender o perfil dos profissionais que atuam na área da economia circular, o questionário dispunha de questões de identificação, as quais foram avaliadas. Os resultados mostraram que a maioria dos participantes (60%) tinha envolvimento direto com a economia circular em suas atividades, enquanto os demais (40%) não. Quanto ao porte das organizações em que trabalhavam, observou-se uma predominância das de grande porte (38,1%), seguidas pelas de micro porte (17%), pequeno porte (14,9%) e médio porte (13,9%). Os restantes eram microempreendedores individuais ou estavam desempregados.

Dentre as questões de identificação, os respondentes foram questionados acerca do seu nível de conhecimento sobre a EC. A distribuição de respostas para cada grupo está na Figura 10.

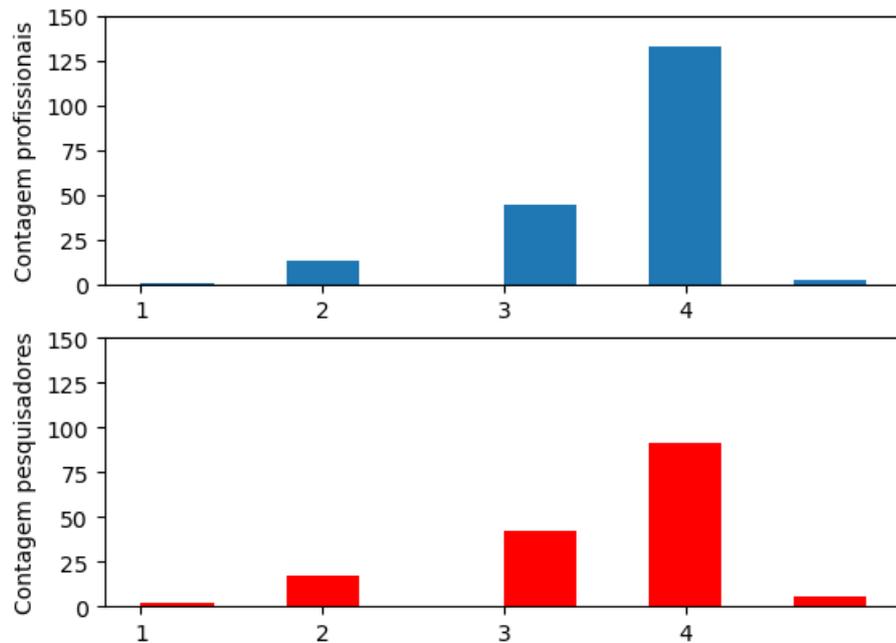


Figura 10 – Nível de conhecimento sobre a economia circular

Os acadêmicos se destacaram entre os respondentes pelo seu bom conhecimento (4) sobre economia circular, apesar de alguns afirmarem ter baixo conhecimento (2) (Figura 10). Por outro lado, apenas os entrevistados que ocupavam cargos de gerência ou executivos apresentaram maior proporção de alto conhecimento (5) sobre o tema (Figura 10). Isso sugere uma relação entre o nível de conhecimento e o cargo ocupado pelos respondentes.

#### 4.1.1 Atuação

Os respondentes foram questionados sobre o seu envolvimento, seja direto ou indireto, com a economia circular. Entre os pesquisadores, 42,9% declararam que não trabalham diretamente na área, enquanto 57,1% confirmaram sua atuação direta. Já entre os profissionais do setor, 67,5% afirmaram que sua atuação é diretamente ligada à economia circular (conforme ilustrado na Figura 11).

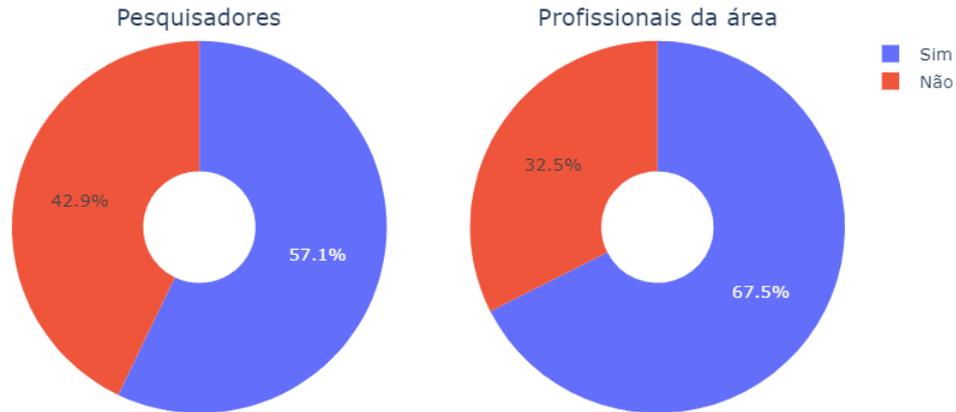


Figura 11 – Atuação direta na economia circular

Os cargos mais proeminentes ocupados pelos profissionais nas organizações são os de executivos (*Executive or Strategic Manager*), supervisores (*Advisor*) e gerentes (*Managers*), que juntos compõem 60,7% do grupo. Além disso, é importante destacar que um contingente expressivo de colaboradores do setor operacional (*Staff*) também contribuiu com suas respostas no questionário, totalizando 24 participantes (Tabela 2).

Cargo	Quantidade
Executive or Strategic Manager	58
Advisor	32
Managers	26
Staff	24
Middle Management	17
Managers	15
Business Consultant	6
Student	2
Unemployed	2
Student at AAU	1
Intern	1
Freelancer	1
NA	1
CE Expert	1
Environmentalism	1
Planning officer	1
Junior Engineer	1
Analyst	1

Tabela 2 – Distribuição das profissões

Os profissionais mencionados estão distribuídos em uma variedade de setores de atuação. O setor quaternário conta com a maior representação, com 49 profissionais. Em seguida, temos o setor terciário com um total de 47 representantes. O setor secundário

também apresenta uma representação significativa, somando 44 profissionais. O setor quaternário conta com 24 representantes, e finalmente, o setor primário é representado por 22 profissionais.

Para os pesquisadores, a formatação do questionário não favoreceu uma melhor descrição das linhas de pesquisa nas quais os professores e estudantes estão aplicados, apenas a percentagem daqueles que atuam diretamente com o tema de EC, como descrito anteriormente.

#### 4.1.2 Nacionalidade

O questionário avaliado contemplou respondentes de mais de 28 países, dentre os quais se destacam em número, Dinamarca (113), Paquistão (104) e Brasil (69). Na Figura (12), temos uma visão geral da distribuição dos países dos respondentes e suas regiões do mundo através de um gráfico de *Sunburst*. Olhando para os continentes, percebemos uma proeminência de europeus, seguidos por oceânicos e sul-americanos.

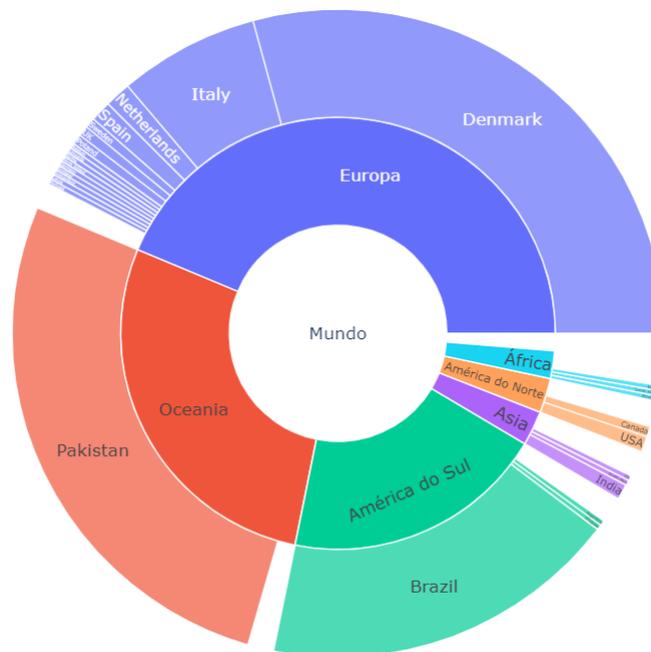


Figura 12 – Distribuição dos países por região do mundo

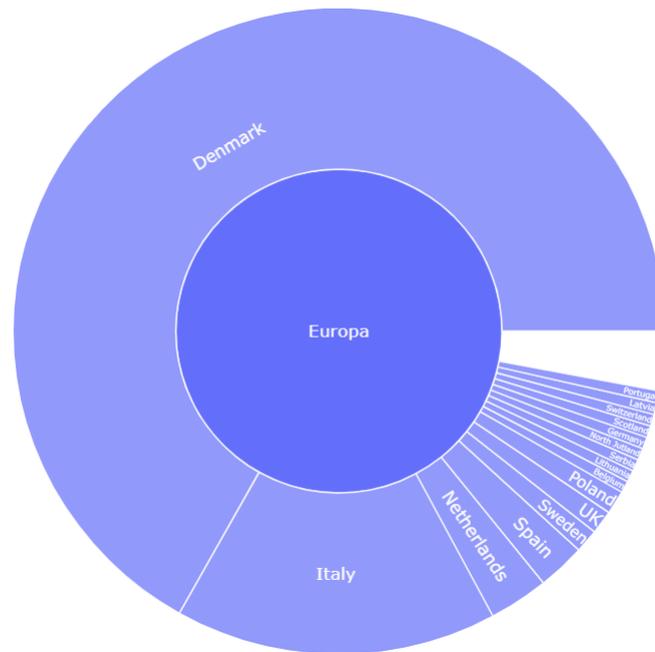


Figura 13 – Países pertencentes a europa

Na Figura 13, realçamos os países europeus que tiveram representantes participando da pesquisa. A amplitude do ângulo atribuído a cada país é proporcional ao número de participantes originários desse país, destacando-se, além da Dinamarca, que fora anteriormente citada; a Itália, com 27 participantes da pesquisa; e Holanda com cinco.

## 4.2 Desempenho das alternativas por grupo de critérios

Nesta subseção realizamos uma avaliação geral do desempenho dos critérios de avaliação de desempenho das alternativas, de acordo com seus subgrupos (detalhados na Tabela 1). Para isto, utilizaremos gráficos de radar (*Radar Charts*). Neste tipo de visualização, onde são representados na forma de linhas em torno de um polígono os desempenhos de determinados atributos de acordo com uma mesma escala de valores, teremos as médias do desempenhos dos grupos de critérios sendo representados para cada medida de migração.

### 4.2.1 Visão geral

O primeiro gráfico (Figura 14) foi elaborado com base em um conjunto de dados completo, sem nenhum recorte específico. Quanto a ordem de precedência dos critérios

esta representação gráfica revela que, de maneira geral, os entrevistados atribuem pontuações mais altas aos critérios **Sociais** para todas as alternativas propostas, com médias de desempenho variando entre 3 e 4. Em seguida, os critérios **Técnicos** são avaliados com médias entre 2.5 e 3, sendo portanto avaliados de forma mais ponderada. Embora os critérios **Ambientais** apresentem médias geralmente inferiores aos critérios técnicos, eles se destacam com notas maiores em três ocasiões específicas: nas alternativas 2, diretrizes de gestão de resíduos; 4, closedloop; e 12, ecocidades ou cidades circulares. Por último, vemos os critérios **Econômicos** recebem as menores médias de avaliação em comparação com os demais critérios.

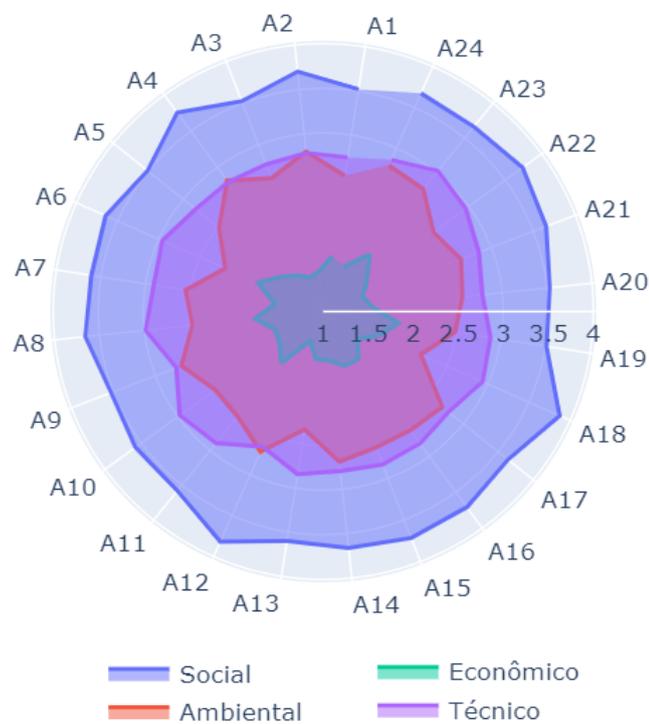


Figura 14 – Gráfico de radar do desempenho das alternativas por grupo de critérios

Ainda podemos extrair do gráfico de radar quais são as alternativas que melhor satisfazem os subgrupos de critérios. Esta informação pode ser de grande utilidade para gestores organizacionais ou públicos que desejem adotar medidas de migração a partir de determinado subgrupo de critérios. Observamos que:

- Isolando-se os demais critérios, e olhando-se apenas para os sociais, a alternativa que melhor supre esse subgrupo de critérios é a alternativa A18 (criação/geração de empregos);

- Caso objetive-se explorar medidas de migração que foquem em simplicidade técnica de implementação e manutenibilidade, de acordo com os entrevistado as alternativas A6, inclusão socioprodutiva; A8, engajamento de stakeholders; A10, parcerias com organizações de pesquisa e desenvolvimento; A18, criação/geração de empregos e A23 redução de perdas e desperdício de alimentos são as opções mais acertivas;
- Para os critérios ambientais, os esforços devem ser voltados a ações que foquem nas alternativas A2 (diretrizes de gestão de resíduos) e A12 (ecocidades);
- Por fim, as alternativas que melhor satisfazem os critério de custo, são: A6, inclusão socioprodutiva; A11, roteiro para economia circular; A19, economia compartilhada; e A23, redução de perdas e desperdício de alimentos.

De posse da visualização discutida, foi possível observar e definir uma ordem de precedência dos critérios estudados. Este tipo de resultado pode ser útil tanto para pesquisadores, gestores e órgãos públicos que tenham interesse em definir estratégias de transição para EC focadas nos subgrupos de critérios avaliados, de modo a serem mais acertivos em suas escolhas.

#### 4.2.2 Visão segregada para os grupos de respondentes estudados

Na Figura 15, então representadas as médias das avaliações dos subgrupos de critérios para os pesquisadores (a) e profissionais (b) separadamente. Onde foi possível perceber que para ambos os grupos existe uma visão similar quanto a ordem de precedência vista na Figura 14.

Similarmente ao que foi realizado na visão geral, iremos analisar as alternativas que se destacam para cada subgrupo de critérios tanto para os pesquisadores quanto para os profissionais.

- Subgrupo de critérios **sociais**: destacaram-se na percepção dos pesquisadores, as medidas mais efetivas foram: A12, ecocidades ;e A18, criação/geração de empregos. Essa visão se assemelhou a visão dos profissinais, que também listaram ambas alternativas dentre as melhores, adicionando-se além destas as alternativas A2 (diretrizes de gestão de resíduos) e A4 (*Closed-loop*). A alternativa que proporciona o menor impacto social para os pesquisadores foi A1 (colaboração entre empresas) e para os profissionais A3 (logística reversa).

- Subgrupo de critérios **técnicos**: na visão do grupo de pesquisadores teve-se como alternativa com maior facilidade técnica de implementação: A23 (redução de perdas e desperdício de alimentos, enquanto para os profissionais); enquanto para os profissionais foi a alternativa A8 (engajamento de stakeholders). Para ambos os grupos a alternativa com maior complexidade técnica de implementação é A12 (ecocidades).
- Subgrupo de critérios **Ambientais**: Vê-se com maior impacto ambiental as alternativas A4 (*Closed-loop*), A12 (ecocidades), A17 (Econoinovação e ecodesign) e, para pesquisadores, e A2 (diretrizes de gestão de resíduos), A4 e A12, para os profissionais.
- Subgrupo de critérios **econômicos**: As medidas com menor custo financeiro, na visão dos especialistas foram A19 (economia compartilhada) para pesquisadores e A23 (Redução de perdas e desperdício de alimentos) para profissionais.

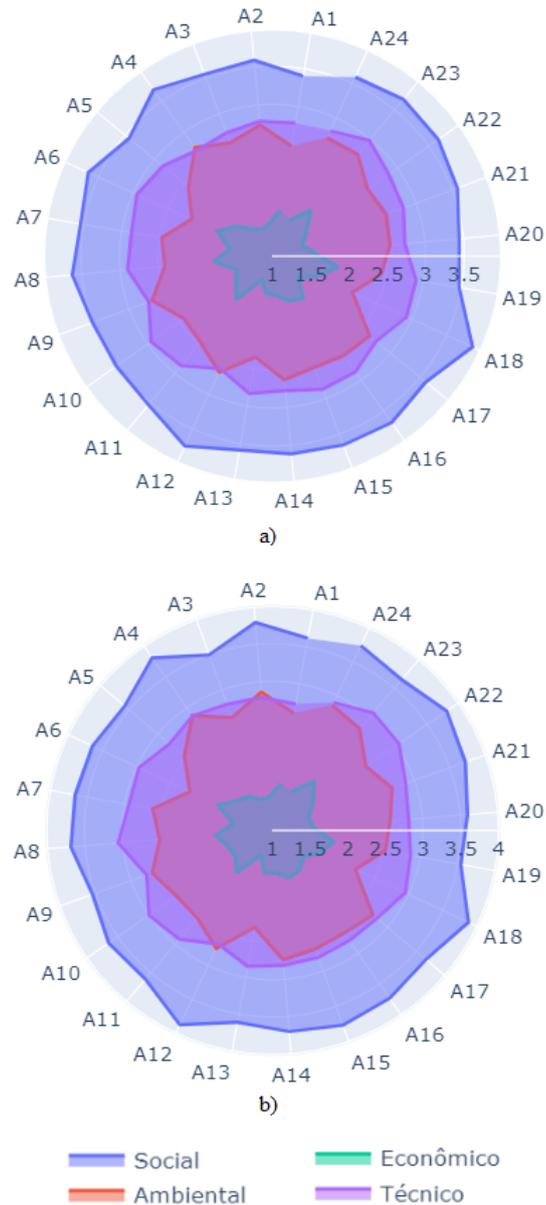


Figura 15 – Gráfico de radar do desempenho das alternativas por grupos de critérios e respondentes

De modo similar ao tópico anterior, esta análise, agora dividida em grupos, pode também nortear a escolha de estratégias com objetivos específicos ligados aos subgrupos de critérios utilizados. No entanto, a depender da finalidade pode-se optar pela percepção dos pesquisadores ou dos profissionais.

### 4.3 Desempenho individual das medidas em cada critério - Avaliação interquartil

Na seção anterior, avaliamos o desempenho geral das alternativas em cada subgrupo de critérios. Na seção a seguir, verificaremos o comportamento das alternativas sem divisão de subgrupos.

A princípio, podemos visualizar o desempenho geral das medidas de migração para cada um dos critérios através do uso de diagramas de caixa (*boxplots*). Na Figura 16, estão representados os desempenhos de cada medida de migração em cada um dos critérios de avaliação. Os *boxplots* estão agrupados de dez em dez, tendo em vista que cada medida foi avaliada em dez critérios.

Os valores contidos nas abscissas dos gráficos representam os valores dos quartis e limites superiores e inferiores registrados, enquanto as ordenadas representam cada medida nos respectivos critérios, conforme a enumeração. As medidas de desempenhos foram nomeadas de “M1” (Colaboração entre empresas) até “M24” (Gerenciamento de resíduos de construção & demolição) e também receberam sufixos de 1 a 10, representando os critérios. Ainda na Figura 16, percebemos que para maioria das alternativas os critérios sociais e ambientais, possuem *outliers* localizados em avaliações baixas (com valor 1), indicando que para os respondentes, as alternativas apresentadas performam melhor nestes dois subgrupos de critérios; enquanto os critérios econômicos e técnicos (com exceção do critério 10, “Funcionalidade”) possuem *outliers* nas avaliações altas (com valor 5), indicando o inverso do observado para os dois subgrupos anteriores.

Tomando como ponto de referência o intervalo interquartil dos *boxplots*, iremos determinar as alternativas que possuem maiores e menores índices de consistência de respostas, dentre os grupos de respondentes avaliados. De posse dos valores de IQR médio, ordenaremos as alternativas de acordo com os valores obtidos.

Na Tabela 3, apresentamos o ordenamento das medidas de migração de acordo com os respectivos valores de IQR médio, de modo que, valores mais altos indicam menor consenso das respostas para determinada medida. Tendo em vista que todos os respondentes obedeceram a mesma escala Likert, avaliando o valor máximo e mínimo do indicador calculado para cada grupo podemos perceber que os respondentes do grupo de pesquisadores possuem maior consenso em suas respostas do que os profissionais.

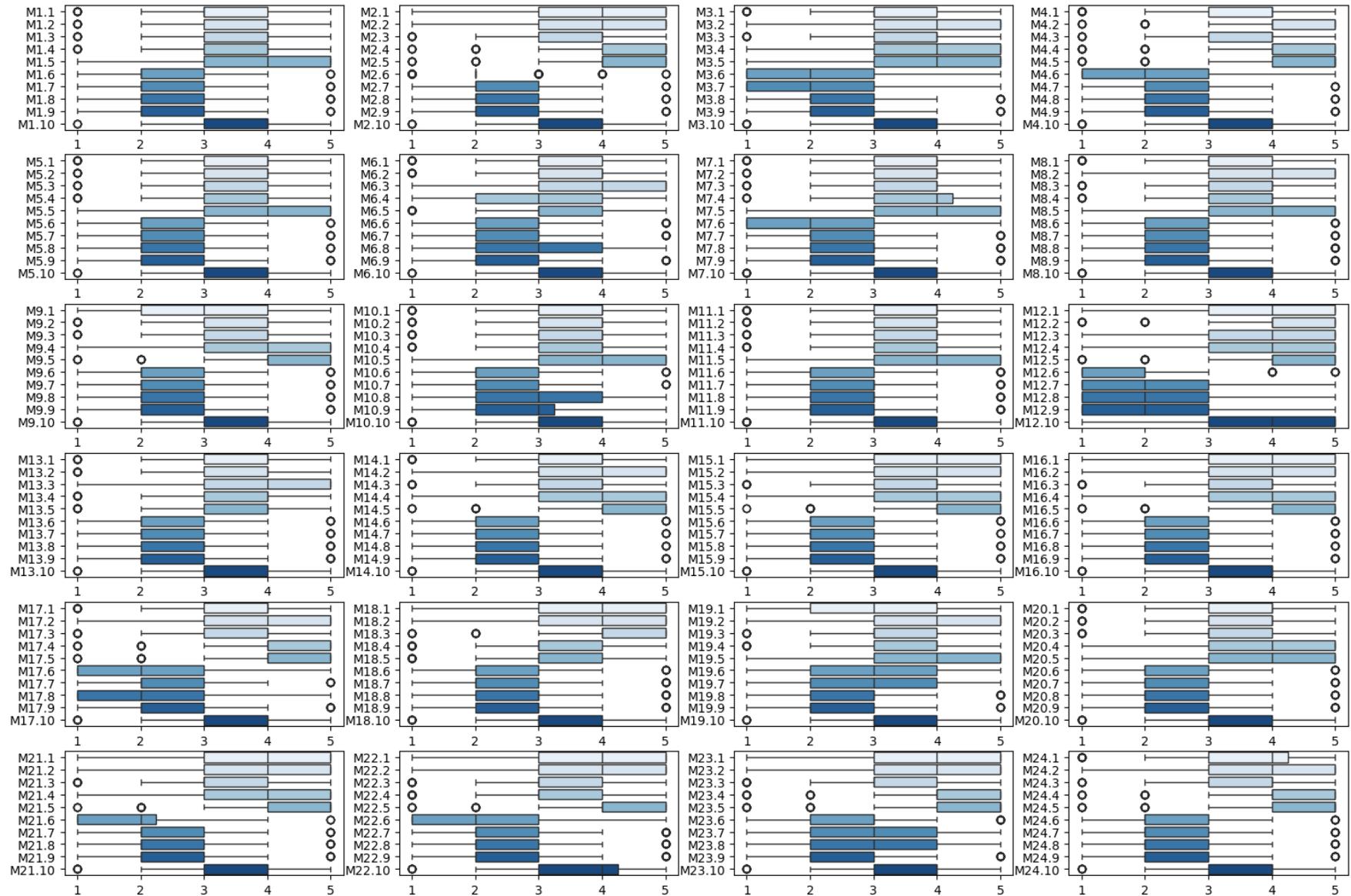


Figura 16 – Boxplots das avaliações dos pesquisadores para cada medida

Tabela 3 – IQR para pesquisadores e profissionais.

Pesquisadores		Profissionais	
Medida	IQR Médio	Medida	IQR Médio
19	1.5	12	1.65
4	1.4	8	1.60
22	1.4	10	1.60
3	1.3	3	1.50
6	1.3	7	1.50
12	1.3	23	1.45
9	1.2	22	1.45
20	1.2	19	1.45
23	1.2	21	1.40
16	1.2	15	1.40
18	1.2	20	1.35
14	1.2	16	1.35
1	1.1	17	1.35
10	1.1	6	1.30
7	1.1	24	1.30
17	1.1	14	1.25
21	1.0	11	1.25
13	1.0	1	1.20
15	1.0	18	1.20
11	1.0	2	1.20
8	1.0	5	1.20
5	1.0	9	1.10
24	1.0	4	1.10
2	0.9	13	1.10

Do ponto de vista dos profissionais, a maior divergência de avaliações se deram nas medidas 12 (ecocidades ou cidades circulares), 8 (Engajamento de stakeholders), 10 (Parcerias com organizações de pesquisa e desenvolvimento), que são medidas menos associadas ao ambiente de trabalho. O desempenho destas alternativas, devido essa dispersão das observações, pode ter seu impacto amortecido. Para o grupo, o maior consenso se deu nas alternativas 9 (Simbiose industrial), 4 (Closed-Loop) e 13 (Incentivos à micro, pequenas e médias empresas), que são mais associadas ao ambiente industrial. O desempenho destas alternativas, por parte dos profissionais, nas demais avaliações ao longo do trabalho devem ser tidas como mais robustas.

Para o segundo grupo, a interpretação dos valores é análoga. A alternativa com maior consenso de resposta para os pesquisadores foi a alternativa 2 (Diretrizes de gestão de resíduos). Aquelas com maior dispersão de respostas, foram 19 (Economia compartilhada), 4 (Closed-Loop) e 22 (Eficiência energética).

## 4.4 Testes pareados

Assim como no decorrer no trabalho, apresentaremos os resultados dos testes pareados para os dois grupos que estão sendo estudados. Para cada um destes, serão discutidas as alternativas mais eficientes separada e conjuntamente. Precedendo a etapa de apresentação dos resultados dos testes, está descrita nessa subseção a adequação realizada nos dados para realização dos testes.

A base de dados utilizada no estudo foi construída de modo que cada uma das vinte e quatro medidas de migração para economia circular pudessem ser avaliadas em dez critérios. Os registraram suas percepções para cada um destes critérios em cada alternativa, de modo que, o produto final do questionário consistiu em uma base de dados, representada na forma de uma matriz com 240 colunas e 352 linhas (240x352). Para realização do teste dos postos de Wilcoxon, fez-se necessário a construção de uma nova matriz com as medianas dos critérios para cada uma das medidas, construindo-se assim uma matriz 24x352, conforme a Figura 17, que representa essa construção de forma mais simples.

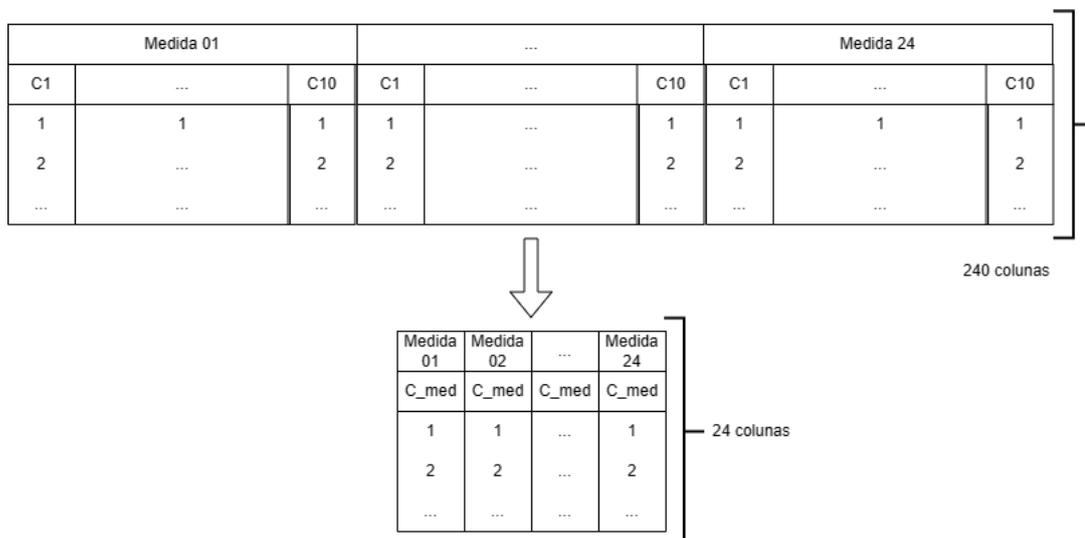


Figura 17 – Transformação da matriz geral para matriz de medianas

De posse do registro do desempenho, em mediana, de cada uma das alternativas, foram realizados os testes par a par para descobrir, com relevância estatística, quais alternativas possuem as melhores avaliações globais. Os resultados foram apresentados na forma de duas matrizes 24x24, sendo uma para o grupo de pesquisadores e outra para os profissionais entrevistados. Associado a essas matrizes, inseriu-se uma escala de cor,

transformando cada matriz num gráfico de mapa de calor, onde, para escala escolhida, os menores valores vão de cores mais escuras para mais claras, conforme o aumento.

Nesta matriz, cada célula indica o valor da estatística de teste  $p$  entre o par de alternativas correspondentes a linha e a coluna. Assim, para os valores de  $p$  inferiores a 0,05, temos que a **alternativa da linha** tem um desempenho significativamente superior à **alternativa da coluna**, ao nível de 5% de significância.

#### 4.4.1 Visão dos profissionais

Na Figura 18 temos a primeira matriz com escala de cor, onde estão dispostos os resultados do valor de  $p$  encontrados para cada par de alternativas, na visão dos respondentes que atuam no mercado de trabalho. Esta visualização proporciona uma percepção geral dos testes realizados, indicando um desempenho mais relevante das medidas 4 (Closedloop), 15 (Compras verdes e/ou sustentáveis), 22 (eficiência energética), 23 (redução de perdas e desperdício de alimentos) e 24 (Gerenciamento de resíduos de construção & demolição), para este grupo. O bom desempenho de uma alternativa é traduzido por meio da proporção de tons escuros na linha da alternativa. Quanto mais escura a célula, menor o valor de  $p$  encontrado no teste de hipótese.

Os resultados do teste par a par realizado também estão resumidos na Tabela 4. Na tabela, cada alternativa é representada por uma linha, assim como na figura acima. Se uma alternativa teve uma mediana estatisticamente superior a outras (representada na coluna), atribuímos o valor 1 à célula correspondente; caso contrário, o valor é 0. Além disso, registramos a quantidade de vezes que cada alternativa prevaleceu no teste nas colunas “win” (vitórias) e na coluna denominada “loss” (derrotas) o número de não prevalências.

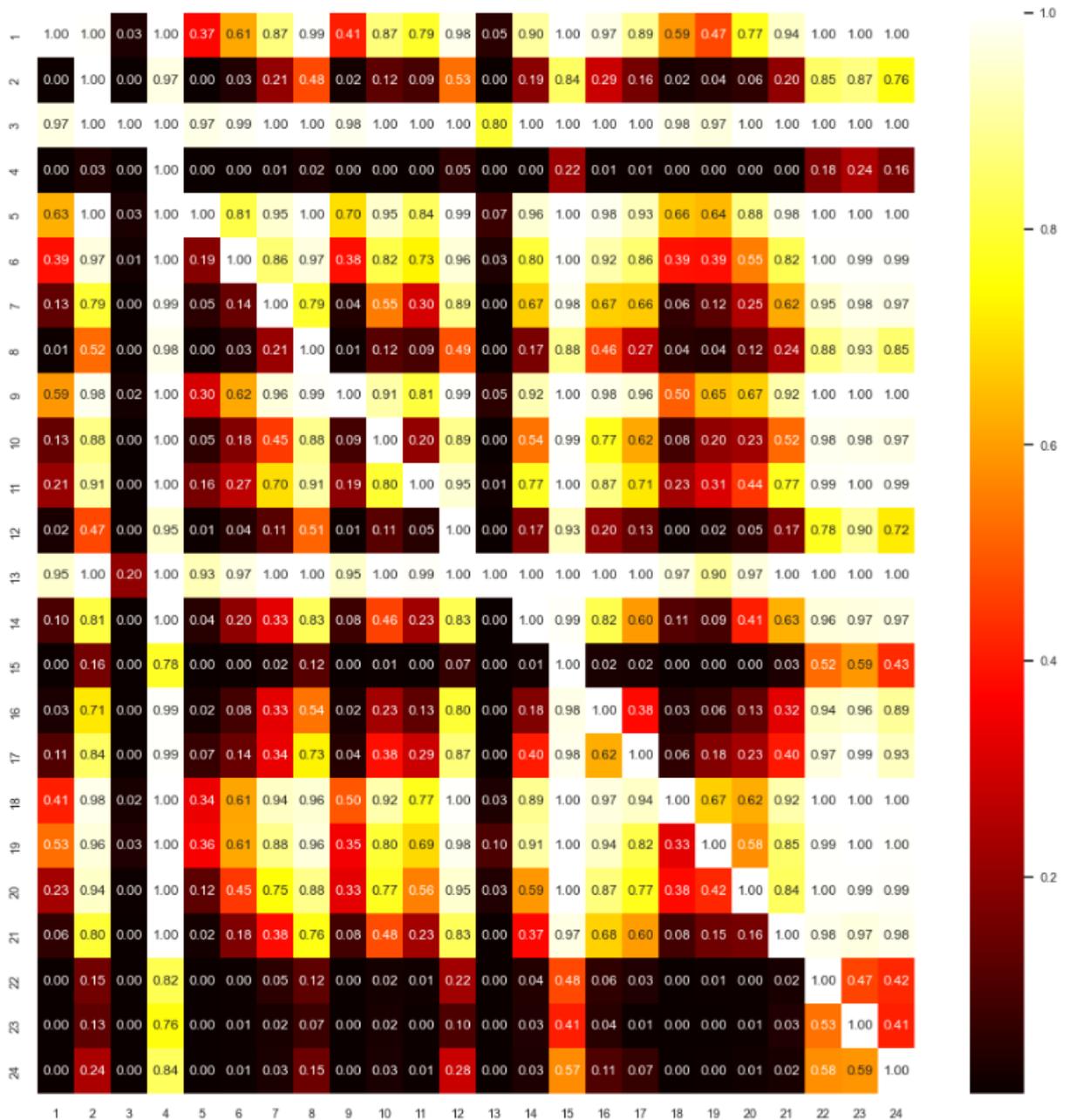


Figura 18 – P-valores cruzados das medidas avaliadas pelos profissionais

As medidas que se destacaram na percepção dos profissionais foram as seguintes:

1. Medida 04 (Closedloop): possuindo mediana superior à 19 outras alternativas;
2. Medidas 15 (Compras verdes e/ou sustentáveis) e 23 (Redução de perdas e desperdício de alimentos): ambas com medianas estatisticamente superiores em 16 ocasiões;
3. Medida 22 (Eficiência energética): somando 15 prevalências nos testes de hipóteses;

4. Medida 24 (Gerenciamento de resíduos de construção & demolição): que totalizou 14 sucessos nos testes.

Se fôssemos considerar como critério de desempate entre as medidas 16 e 23, o confronto direto no teste de hipóteses, a alternativa 23 estaria na frente na percepção dos trabalhadores.

Dentre as três alternativas em destaque, aquela com maior consenso de efetividade dentre os respondentes do grupo é a alternativa 4 (com IQR médio de 1,1). As demais alternativas destacadas, possuem valores de IQR moderados. A informação combinada do consenso de respostas e ranking das alternativas podem ser valiosas para autoridades, gestores e pesquisadores que desejem pesquisar acerca e/ou efetivamente realizar a migração para EC.

Tabela 4 – Contagem de rejeições de  $H_0$  para trabalhadores

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	win	loss
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22
2	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	8	16
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	19	5
5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23
6	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22
7	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21
8	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	8	16
9	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23
10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22
11	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	22
12	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	9	15
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
14	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21
15	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	16	8
16	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	6	18
17	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	21
18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	22
19	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	23
20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	22
21	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	21
22	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	15	9
23	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	16	8
24	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	14	10

Em contrapartida, duas medidas possuem medianas inferiores a todas as demais neste teste, sendo elas: medida 03 (Logística reversa) e medida 13 (Incentivos para micro, pequenas e médias empresas). Entendemos com isto, que na visão dos profissionais entrevistados, essas medidas são as que possuem menor impacto na transição da economia linear para circular. Apesar da logística reversa ter se destacado no indicador anterior, para a par com as demais alternativas no teste de hipóteses, ela teve o desempenho (em

mediana) inferior as demais, rebaixando assim o grau de confiança nela como uma das melhores alternativas na transição para EC.

Ainda acerca da logística reversa, vimos na avaliação dos critérios sociais que a alternativa também teve um desempenho abaixo das demais e possuía desempenhos, apenas mediano nos demais subgrupos de critérios, reforçando que na visão dos entrevistados, pode ser considerada como uma medida de migração a ser implementada em um programa de EC mais avançado, pois possui grau de manutenção e implementação complexo.

#### 4.4.2 Visão dos pesquisadores

Semelhantemente ao que foi construído para entender a percepção dos profissionais, a percepção dos respondentes que pertencem a classe de pesquisadores está descrita na Figura 19, onde a imagem também mostra os resultados dos testes par a par na forma de um gráfico de mapa de calor. Em relação ao grupo anterior, podemos visualmente identificar divergências aparentes, ao passo que as medidas com maior potencial, na percepção dos pesquisadores, são as medidas 12, 16 e 23, diferindo do grupo anterior.

Com o auxílio das informações anteriores e as complementares fornecidas na Tabela 5, que fora construída de maneira similar para o grupo anterior, as medidas que mais se destacam são:

- Medida 23 (Redução de perdas e desperdício de alimentos): sendo a medida com maior destaque no teste pareado, vencendo-o em 23 ocasiões;
- Medida 12 (Ecocidades ou cidades circulares): apresentando-se com mediana superior 13 vezes;
- Medida 16 (Regulação): com teste de hipótese favorável em 11 pares de testes.

Para o teste pareado realizado com os pesquisadores, percebemos que as três medidas possuem mesmo valor de IQR médio (1.2), o que mitiga a preocupação de que tivesse resultado amortecido devido a falta de consenso de respostas. No que diz respeito aos testes pareados, observamos que a alternativa 23 (Redução de perdas e desperdício de alimentos), se sobressai das demais tanto para o grupo de profissionais entrevistados, tanto para os pesquisadores. A alternativa em questão deve ser considerada em processos de

migração para economia circular pois é de implementação e manutenção simples, além de possuir bons níveis de impacto ambiental e social, na visão dos especialistas entrevistados.

Em linhas gerais, a percepção dos pesquisadores é mais propensa a apoiar medidas mais associadas a critérios sociais e ambientais, enquanto para os profissionais, alternativas como Regulação e Eficiência energética, que são mais ligadas aos critérios econômicos e financeiros, são melhor percebidas.

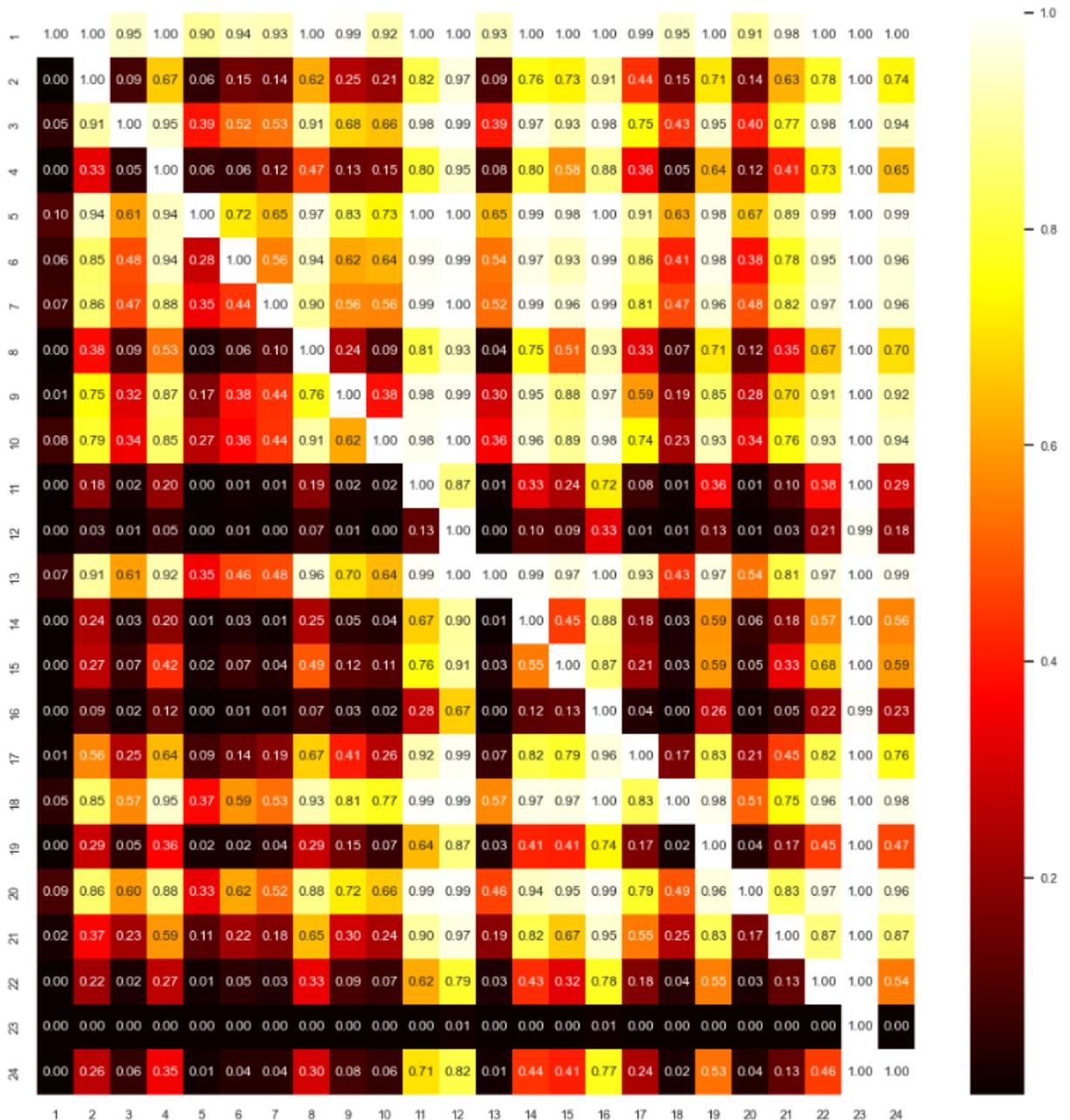


Figura 19 – P-valores cruzados das medidas avaliadas pelos pesquisadores

Assim como para o grupo de respondentes que atua no mercado de trabalho, para os pesquisadores, as alternativas 03 e 13 também não contabilizaram nenhuma preva-

lência no teste com as demais medidas. No entanto, além dessas, surgem com mesmo desempenho as medidas 1 (Colaboração entre empresas), 5 (Acordos setoriais), 6 (Inclusão sócioprodutiva), 10 (Parcerias com organizações de pesquisa e desenvolvimento), 18 (Criação/geração de empregos) e 20 (Obtendo valor da biomassa).

Tabela 5 – Contagem de rejeições de  $H_0$  para pesquisadores

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	win	loss	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
4	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	21
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
8	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21
9	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
11	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	10	14
12	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	13	11
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
14	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	9	15
15	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	6	18
16	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	11	13
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	23
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
19	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	7	17
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	24
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	23
22	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	8	16
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23	1
24	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	7	17	

Para sintetizar as divergências e semelhanças entre os dois grupos nos testes pareados, elaboramos uma tabela comparativa que mostra a posição relativa de cada medida para ambos os grupos (Tabela 6). Esse ranking foi desenvolvido levando em consideração a quantidade de prevalências contabilizadas nos testes de hipóteses, para cada alternativa. Na tabela traduz-se a divergência de pensamento dos grupos no fato de que mesmo havendo posições com empates, apenas em três ocasiões uma mesma alternativa ocupou a mesma posição no ranking estabelecido para os dois grupos. Estas ocasiões ocorreram nas medidas que ocuparam as piores posições nos rankings, sendo elas: Logística Reversa e Incentivos a micro, pequenas e médias empresas (MPE), empatadas na última posição para ambos os grupos; e Simbiose Industrial, ocupando a penúltima posição. Estas alternativas, possuem baixo impacto na migração para EC, na visão dos entrevistados.

No entanto, ao longo do trabalho pudemos destacar a importância da redução de perdas e desperdício de alimentos, bem como a implementação de ecodidades e ciclos fechados para efetividade de programas de migração da EL para EC.

Tabela 6 – Comparativo dos rankings das alternativas entre os pesquisadores e profissionais para o teste pareado

Posição	Ranking para os Profissionais	Ranking para os Pesquisadores
1 <sup>a</sup>	Closedloop (reúso reparo condicionamento remanufatura e reciclagem) (04)	Redução de perdas e desperdício de alimentos (23)
2 <sup>a</sup>	Redução de perdas e desperdício de alimentos (23) Compras verdes e/ou sustentáveis (15)	Ecocidades ou cidades circulares (12)
3 <sup>a</sup>	Eficiência energética (22)	Regulação (16)
4 <sup>a</sup>	Gerenciamento de resíduos de construção & demolição (C&D) (24)	Roadmap (roteiro) para a economia circular (11)
5 <sup>a</sup>	Ecocidades ou cidades circulares (12)	Política de produto sustentável (14)
6 <sup>a</sup>	Engajamento de stakeholders (08)	Eficiência energética (22)
7 <sup>a</sup>	Diretrizes de gestão de resíduos (02) Regulação (16)	Ecônomoia compartilhada ( <i>sharing economy</i> ) (19) Gerenciamento de resíduos de construção & demolição (C&D) (24)
8 <sup>a</sup>	Incentivos suporte financeiro e medidas fiscais (07) Política de produto sustentável (14) Ecoinoação e ecodesign (17) Reúso da água (21)	Compras verdes e/ou sustentáveis (15)
9 <sup>a</sup>	Colaboração entre empresas (01) Inclusão sócioprodutiva (06) Parcerias com organizações de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (10) Roadmap (roteiro) para a economia circular (11) Criação/geração de empregos (18) Obtendo valor da biomassa (20)	Closedloop (reúso reparo condicionamento remanufatura e reciclagem) (04)  Engajamento de stakeholders (08)
10 <sup>a</sup>	Acordos setoriais (05) Simbiose industrial (09) Economia compartilhada ( <i>sharing economy</i> ) (19)	Diretrizes de gestão de resíduos (02) Simbiose industrial (09) Ecoinoação e ecodesign (17) Reúso da água (21)
11 <sup>a</sup>	Logística reversa (03)  Incentivos à micro pequenas e médias empresas (MPE) (13)	Colaboração entre empresas (01) Logística reversa (03) Acordos setoriais (05) Inclusão socioprodutiva (06) Incentivos suporte financeiro e medidas fiscais (07) Parcerias com organizações de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (10) Incentivos à micro pequenas e médias empresas (MPE) (13) Criação/geração de empregos (18) Obtendo valor da biomassa (20)

## 4.5 Testes não-pareados

Para o teste não pareado, os valores contidos na Tabela 7 representam os testes realizados utilizando uma mesma alternativa, para os diferentes dois grupos de respondentes (profissionais e pesquisadores). Com base na formulação do teste de hipótese, dados os valores de p encontrados, deixamos de rejeitar a hipótese de que os pesquisadores e profissionais tem igual critério de avaliação para as alternativas. Logo, temos indícios estatísticos para afirmar que nenhum dos grupos tende a melhor avaliar as medidas em detrimento do outro. Sendo assim, as divergências e semelhanças que encontramos ao longo deste trabalho não se dão puramente a uma predisposição dos respondentes de determinado grupo em melhor avaliar determinada medida, e sim aos impactos gerais dos critérios em cada alternativa/medida de migração.

Tabela 7 – Resultado do teste U de Mann Whitney

<b>Alternativa</b>	<b>Estatística</b>	<b>p-valor</b>
1	12960.5	0.500248
2	12960.5	0.500245
3	12960.5	0.500248
4	12960.5	0.500245
5	12960.5	0.500251
6	12960.5	0.500247
7	12960.5	0.500250
8	12960.5	0.500246
9	12960.5	0.500245
10	12960.5	0.500248
11	12960.5	0.500247
12	12960.5	0.500245
13	12960.5	0.500250
14	12960.5	0.500247
15	12960.5	0.500249
16	12960.5	0.500247
17	12960.5	0.500246
18	12960.5	0.500248
19	12960.5	0.500250
20	12960.5	0.500248
21	12960.5	0.500245
22	12960.5	0.500248
23	12960.5	0.500247
24	12960.5	0.500247

## 5 Conclusão e trabalhos futuros

Este trabalho realizou uma análise das 24 medidas de migração da economia linear para circular presentes do questionário que fora objeto de estudo. Foi possível, por meio da metodologia CRISP-DM realizar um roteiro de análise do questionário, desde a obtenção e compreensão dos dados contidos neste, até a realização de testes estatístico e geração de relatórios no formato de gráficos diversos. De posse dessas análises tanto entidades de gestão pública, quanto administradores de empresas podem nortear-se quanto a medidas que lhes auxiliem na transição economia circular.

Pudemos perceber a partir das análises gráficas, que os critérios com maior importância para os respondentes, foram aqueles que abrangiam primeiramente o âmbito social. Em seguida tivemos aqueles voltados aos aspectos técnicos. Posteriormente os critérios focados no meio ambiente e por fim, os econômicos. Essa informação nos leva a crer que para que a transição da EC para EL seja bem sucedida, essa ordem deve ser obedecida. Salientando que tanto os critérios ambientais, quanto os economicos possuíam o mesmo número de critérios de avaliação (dois).

Quanto as alternativas, aquela que se apresentou como satisfatória para todos os subgrupos de critérios, de forma desagregada, foi "Criação/geração de empregos". Compreendemos assim, que tanto na percepção dos profissionais da área quanto dos pesquisadores, para que haja sucesso na migração para EC, necessita-se pensar na geração de empregos nas abordagens escolhidas. Os investimentos em soluções para o desenvolvimento de ecocidades e o fomento a implementação de ciclo fechado (*closed-loop*) também foram tidas como medidas cruciais para a migração para EC.

No que diz respeito a visão desagregada das alternativas nos critérios as divergências estiveram presentes nos distintos modos de avaliação. Para aqueles que atuam profissionalmente, a Tabela 6 revela que medidas voltadas a reúso, redução de perdas, compras verdes e eficiência energética, são tidas como mais efetivas. No entanto, para os pesquisadores deve-se priorizar a redução de perdas, desenvolvimento de ecocidades e fortalecimento da regulamentação para que a migração seja efetiva. A presença da redução de perdas entre as alternativas mais bem avaliadas revela um consenso pesquisadores e profissionais acerca da efetividade da medida.

Os resultados que acabamos de discutir, corroboram com a Tabela 3, pelo fato das alternativas mais bem colocadas no ranking por grupo (Tabela 6), serem aquelas com mais consenso de respostas. O inverso dessa observação também é verdadeiro. Essa informação implica que os rankings construídos foram efetivamente robustos. O que ainda robustece mais os resultados encontrados, é o fato do teste U de Mann Whitney revelar que nenhum dos grupos tem predisposição a melhor avaliar uma alternativa em detrimento do outro.

Dentre as alternativas com desempenhos mais baixos nas avaliações ao longo do trabalho, houve um consenso entre os grupos estudados acerca da “Logística reversa” e do “Incentivos à micro, pequenas e médias empresas”. A logística reversa foi depreciada pelo seu alto custo de implementação e manutenção, refletidos no baixo desempenhos nos critérios financeiros e técnicos. Já o incentivo às MPE’s apresentaram baixo potencial nos critérios ambientais e sociais, o que faz sentido, uma vez que os grandes produtores possuem maior potencial de geração de empregos e geram mais resíduos.

Para trabalhos futuros, exploraremos o uso de ferramentas de aprendizado de máquina não supervisionado para investigar as percepções dos respondentes.

# REFERÊNCIAS

- ADDO-TENKORANG, R.; HELO, P. T. Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers Industrial Engineering*, v. 101, p. 528–543, 2016. ISSN 0360-8352. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835216303631>>.
- AGRAWAL, P.; NARAIN, R.; ULLAH, I. Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. *Journal of Modelling in Management*, v. 15, n. 1, p. 297–317, 2020.
- AGRAWAL, R. et al. An exploratory state-of-the-art review of artificial intelligence applications in circular economy using structural topic modeling. *Operations Management Research*, v. 15, n. 3, p. 609–626, 2022.
- ANDERSON, R. *Mid-course correction : toward a sustainable enterprise :The Interface model*. [S.l.]: Peregrinzilla Press, 1998.
- AZEVEDO, J. L. *A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa*. [S.l.]: XI Congresso Nacional de Excelência em gestão, 2015.
- BATABYAL, A. A. *Crawford “Buzz” Holling (1930–2019): Progenitor of Resilience in Regional Science*. Cham: Springer International Publishing, 2023. 193–211 p. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-031-13440-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-13440-1_9)>.
- BONCIU, F. *The European Economy: From a Linear to a Circular Economy*. 2014.
- BRASIL. *Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. 2010. <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acessado: 26-05-2023.
- BUIL, P. et al. The involvement of future generations in the circular economy paradigm: An empirical analysis on aluminium packaging recycling in Spain. *Sustainability (Switzerland)*, MDPI, v. 9, 12 2017. ISSN 20711050.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. *Economia Circular: Um Novo Modelo de Desenvolvimento para o Brasil*. 2018. <[https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer\\_public/2f/45/2f4521b9-d1eb-44f7-b501-cda01254738a/miolo\\_economia\\_circular\\_pt\\_web.pdf](https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/2f/45/2f4521b9-d1eb-44f7-b501-cda01254738a/miolo_economia_circular_pt_web.pdf)>. Acessado: 28-05-2023.
- CORONA, B. et al. Towards sustainable development through the circular economy—a review and critical assessment on current circularity metrics. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 151, p. 104498, 2019. ISSN 0921-3449. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919304045>>.
- EISEN, M. B. et al. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 95, n. 25, p. 14863–14868, 1998. Disponível em: <<https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.95.25.14863>>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards the Circular Economy - Economic and business rationale for accelerate transition*. 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Economic and business rationale for an accelerated transition. *Towards the Circular Economy; Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK*, v. 1, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, v. 2, p. 23–44, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Artificial intelligence and the circular economy. *Ellen MacArthur Foundation, Cowes, UK*, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Artificial Intelligence and the Circular Economy: AI as a Tool to Accelerate the Transition*. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. 2023. <<https://11nq.com/7dEj5>>. Acessado: 22-04-2024.

ESTATÍSTICA, I. B. de Geografia e. *Produto Interno Bruto - PIB*. 2023. <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>.

EUROPEAN COMMISSION. *Europe 2020: a strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Communication from the Commission COM(2010) 2020*. 2010. European Commission: Brussels, Belgium.

EUROPEAN COMMISSION. *Closing the Loop—An EU Action Plan for the Circular Economy*. 2015. European Commission: Brussels, Belgium.

EUROPEIA, U. Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comitê econômico e social europeu e ao comitê das regiões - para uma economia circular: programa para acabar com os resíduos na europa. *Comissão Européia*, 2014.

GARDETTI, M. A. Introduction and the concept of circular economy. In: MUTHU, S. S. (Ed.). *Circular Economy in Textiles and Apparel*. Woodhead Publishing, 2019, (The Textile Institute Book Series). p. 1–11. ISBN 978-0-08-102630-4. Acessado: 28-04-2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081026304000017>>.

GEISSDOERFER, M. et al. Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 190, p. 712–721, 2018. ISSN 0959-6526. Acessado: 07-06-2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618311867>>.

GU, Z. Complex heatmap visualization. *iMeta*, John Wiley and Sons Inc, v. 1, 9 2022. ISSN 2770596X.

GUARNIERI, P. et al. Transitioning towards a circular economy under a multicriteria and the new institutional theory perspective: A comparison between Italy and Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 409, p. 137094, 2023. ISSN 0959-6526. Acessado: 24-04-2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623012520>>.

GUARNIERI, P. et al. How can we measure the prioritization of strategies for transitioning to a circular economy at macro level? a new approach. *Sustainability*, v. 15, n. 1, 2023. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/680>>.

GULLINGSRUD, A.; PERKINS, L. *Designing for the Circular Economy: Cradle to Cradle® Design*. 2015. 293-312 p. Acessado: 10-08-2024. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/364830950\\_Designing\\_for\\_the\\_Circular\\_Economy\\_Cradle\\_to\\_CradleR\\_Design](https://www.researchgate.net/publication/364830950_Designing_for_the_Circular_Economy_Cradle_to_CradleR_Design)>.

ITOH, T. et al. High-dimensional data visualization by interactive construction of low-dimensional parallel coordinate plots. *Journal of Visual Languages Computing*, v. 43, p. 1–13, 2017. ISSN 1045-926X. Acessado: 17-08-2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1045926X15300112>>.

JAIN, S.; GUPTA, A.; JAIN, D. Common statistical tests in dental research. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research /Vol*, v. 3.

JANSSEN, M.; van der Voort, H.; WAHYUDI, A. Factors influencing big data decision-making quality. *Journal of Business Research*, v. 70, p. 338–345, 2017. ISSN 0148-2963. Acessado: 12-08-2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296316304945>>.

KEENA, N. et al. Data visualization for a circular economy: Designing a web application for sustainable housing. *Technology Architecture and Design*, v. 7, 2023. ISSN 2475143X.

KRISTOFFERSEN, E. et al. Exploring the relationship between data science and circular economy: An enhanced crisp-dm process model. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2019. p. 177–189. ISBN 978-3-030-29373-4.

KRISTOFFERSEN, E. et al. Exploring the relationship between data science and circular economy: An enhanced crisp-dm process model. In: PAPPAS, I. O. et al. (Ed.). *Digital Transformation for a Sustainable Society in the 21st Century*. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 177–189. ISBN 978-3-030-29374-1.

KRISTOFFERSEN, E. et al. *Exploring the Relationship Between Data Science and Circular Economy: An Enhanced CRISP-DM Process Model*. [S.l.]: Springer Verlag, 2019. 177-189 p.

LEGNAIOLI, S. *O que é economia linear e seus impactos?* 2023. <[www.ecycle.com.br/economia-linear](http://www.ecycle.com.br/economia-linear)>.

MAGAZZINO, C.; MELE, M.; SCHNEIDER, N. The relationship between municipal solid waste and greenhouse gas emissions: Evidence from switzerland. *Waste Management*, Elsevier Ltd, v. 113, p. 508–520, 7 2020. ISSN 18792456.

MARQUESONE, R. d. F. P.; JUNIOR, F. P.; CARVALHO, T. C. M. de B. Big data e tecnologias digitais aplicadas à economia circular: Oportunidades para cadeias produtivas mais sustentáveis. *Sociedade Brasileira de Computação*, 2022.

MCAFEE, A. et al. Big data: the management revolution. *Harvard business review*, Cambridge, v. 90, n. 10, p. 60–68, 2012.

- MEADOWS DENNIS L. MEADOWS, J. R. W. W. B. I. D. H. *The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. [S.l.]: Potomac Associates – Universe Books, 1972.
- MENDES, M.; PALA, A. Type i error rate and power of three normality tests. *Information Technology Journal*, v. 2, 02 2003.
- MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. *Economia e Desenvolvimento*, n. 16, jun. 2004.
- MILLETTE, S.; WILLIAMS, E.; HULL, C. E. Materials flow analysis in support of circular economy development: Plastics in trinidad and tobago. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 150, p. 104436, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104436>>.
- MYERS, W. *Probabilidade Estatística para engenharia e ciências*. [S.l.]: Pearson, 2009. v. 8. 150-152 p.
- NETWORK, G. F. *Human Population Update: What is Our Ecological Footprint on this Planet?* 2012. <<https://www.21stcentech.com/human-population-update-carrying-capacity-planet-earth/>>.
- NETWORK, G. F. *Supply and Demand Graph*. 2023. <[https://data.footprintnetwork.org/?\\_ga=2.205578651.924077432.1721328629-626226298.1716578428#/exploreData](https://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.205578651.924077432.1721328629-626226298.1716578428#/exploreData)>. Accessed: 2024-06-18.
- ONU, O. das N. U. *Relatório Anual 2022 - ONU Brasil*. 2022. <[https://brasil.un.org/sites/default/files/2023-03/ONU\\_Brasil\\_Relatorio\\_Anual\\_2022.pdf](https://brasil.un.org/sites/default/files/2023-03/ONU_Brasil_Relatorio_Anual_2022.pdf)>. Acessado: 22-07-2024.
- PARAJULY, K.; HABIB, K.; LIU, G. Waste electrical and electronic equipment (weee) in denmark: Flows, quantities and management. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 123, p. 85–92, 2017. ISSN 0921-3449.
- PEREIRA, M.; SILVEIRA, M. A. A necessidade de adaptação às regulações ambientais da política nacional de resíduos sólidos: do fabricante ao consumidor organizacional no setor de equipamentos eletromédicos. *RAI Revista de Administração e Inovação*, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 88–109, 2014.
- PEÑA, C. et al. Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 26, n. 2, p. 215–220, Feb 2021. ISSN 1614-7502. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>>.
- PRIOUX, N. et al. Environmental assessment coupled with machine learning for circular economy. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Springer, v. 25, n. 2, p. 689–702, 2023.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. *Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests*. 2011. 21-33 p.
- SAIDANI, M. et al. Closing the loop on platinum from catalytic converters: Contributions from material flow analysis and circularity indicators. *Journal of Industrial Ecology*, v. 23, n. 5, p. 1143–1158, 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12852>>.

- SCHOUTEN, A. M. et al. *Operating Room Performance Optimization Metrics: a Systematic Review*. [S.l.]: Springer, 2023.
- SEWARD, L. E.; DOANE, D. P. *Estatística Aplicada à Administração e Economia*. [S.l.]: AMGH Editora, 2014. 860 p. ISBN 8580553946, 9788580553949.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, Oxford University Press, Biometrika Trust, v. 52, p. 591–611, 1965. ISSN 00063444. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2333709>>.
- SILVA, E. et al. Uso da ciência de dados no suporte à implementação de estratégias de transição para economia circular. In: *ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*. São José dos Campos: Galoá, 2023. Acesso em: 08 Jul. 2024. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/sbpo-2023/trabalhos/uso-da-ciencia-de-dados-no-suporte-a-implementacao-de-estrategias-de-transicao-p?lang=pt-br>>.
- TAVANA, M. et al. *A Review of Digital Transformation on Supply Chain Process Management Using Text Mining*. [S.l.]: MDPI, 2022.
- UNIVERSITY, Y. *Environmental Performance Index Results 2022*. 2022. <<https://epi.yale.edu/epi-results/2022/component/epi>>. Acessado: 26-05-2023.
- WALLER, M. A.; FAWCETT, S. E. *Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management*. [S.l.]: Wiley Online Library, 2013. 77–84 p.
- WEETMAN, C. *A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains: Repair, Remake, Redesign, Rethink*. [S.l.]: Kogan Page, 2016.
- WILKINSON, A.; WILLIAMS, I. Why do (w)eee hoard? the effect of consumer behaviour on the release of home entertainment products into the circular economy. *Detritus*, Cisa Publisher - Eurowaste Srl, v. 12, p. 18–33, 2020. ISSN 26114135.
- WILKINSON, L.; FRIENDLY, M. The history of the cluster heat map. *The American Statistician*, Taylor & Francis, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1198/tas.2009.0033>>.
- WIRTH, R.; HIPPEL, J. Crisp-dm: Towards a standard process model for data mining. In: MANCHESTER. *Proceedings of the 4th international conference on the practical applications of knowledge discovery and data mining*. [S.l.], 2000. v. 1, p. 29–39.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT DEVELOPMENT. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Acronyms and Note on Terminology Chairman's Foreword*. 1987. Oxford University Press: Oxford.
- ZHANG, J. et al. A quantitative study on the benefit of various waste classifications. *Advances in Civil Engineering*, v. 2021, 2021. ISSN 16878094.
- ZHAO, B. et al. *Data Science Applications in Circular Economy: Trends, Status, and Future*. [S.l.]: American Chemical Society, 2024. 6457-6474 p.

ZHIDEBEKKYZY, A. et al. An analysis of barriers and perspectives for circular economy in industrial water use in kazakhstan. *Sustainable Water Resources Management*, v. 10, n. 79, p. 1–14, 2024.

# Anexo I - Códigos

## Funções de base

```
1
2 import pandas as pd
3 import numpy as np
4
5 #####
6 # remocao do texto demasiadamente longo EN e PT-BR
7 #####
8
9 def text_reducer(lista_de_colunas, language):
10     # Lista contendo as colunas do dataframe
11     if language == 'pt':
12         cont = 2
13         for itens in lista_de_colunas[2:]:
14             if '[' in itens[:-1]:
15                 #print(cont)
16                 init = itens.find(':')
17                 pos = itens.find('Esta estrategia')
18                 #print(itens[:init]+ ':' + ' ' + itens[pos:])
19                 lista_de_colunas.values[cont] = (itens[:init]+ ':' + ' ' +
20                                                    itens[pos:])
21                 cont+=1
22
23     if language == 'en':
24         cont = 2
25         for itens in lista_de_colunas[2:]:
26             if '[' in itens[:-1]:
27                 #print(cont)
28                 init = itens.find(':')
29                 pos = itens.find('This strategy')
30                 #print(itens[:init]+ ':' + ' ' + itens[pos:])
31                 lista_de_colunas.values[cont] = (itens[:init]+ ':' + ' ' +
32                                                    itens[pos:])
33                 cont+=1
```



```

71
72 def ordinal_encoder(termo):
73     if termo == 'Muito baixo' or termo == 'Very low' or termo=='Very Low'
74         or termo == '1' or termo == 'Molto basso':
75         termo = 1
76     if termo == 'Baixo' or termo == 'Low' or termo == 'Basso':
77         termo = 2
78     if termo == 'Neutro' or termo == 'Neutral' or termo=='Medium':
79         termo = 3
80     if termo == 'Alto' or termo == 'High':
81         termo = 4
82     if termo == 'Muito alto' or termo == 'Very high' or termo == 'Molto
83         alto':
84         termo = 5
85     if termo == 'Sim' or termo == 'Yes':
86         termo = 1
87     if termo == 'N o' or termo == 'No':
88         termo = 0
89     return(termo)
90
91 # B
92 def patternizer(x):
93     x=str(x)
94     if ('Grande' in x) or ('Big' in x) or ('Large' in x) or ('30000' in x)
95         or ('grandi' in x) or ('Global company' in x):
96         x='Grande'
97     if ('M dia' in x) or ('Medium' in x) or ('medie' in x):
98         x='M dia'
99     if ('Pequena' in x) or ('Small' in x) or ('piccole' in x):
100         x='Pequena'
101     if ('at 10' in x) or ('until 10' in x):
102         x='Micro'
103     if ('Individual' in x) or ('individuale' in x):
104         x='Individual'
105     if ('N o' in x) or ('n o' in x) or ('No se aplica' in x) or ('no' in
106         x) or ('Na' in x) or ('nan' in x) or (x=='0'):
107         x='Sem empresa'
108     if ('Universidade' in x) or ('universidade' in x) or ('Pesquisador' in
109         x) or ('estudante' in x) or ('under education' in x) or ('Student'

```

```

    in x) or ('Researcher1' in x) or ('student' in x) or ('University' in
    x) or ('students' in x):
105     x='Acad mico'
106     return (x)
107
108 # C
109
110
111 #####
112 # ENCODERS-END
113 #####

```

Listing 1 – Código fonte em Python

## Notebook 01 - Ajustes iniciais

```

1
2 import pandas as pd
3 import numpy as np
4 from matplotlib import pyplot as plt
5 import seaborn as sns
6 # local functions
7 from src.features.utils import ordinal_encoder, patternizer, organiza_
    localizacao, text_reducer, padroniza_nomeclatura
8 from sklearn.pipeline import Pipeline
9
10 df_c = pd.read_excel(r'C:\Users\ednae\Documents\Reposit rios\e-waste\data\
    raw\Consolidada - final - 11-09.xlsx', index_col=[0])
11 df_br = pd.read_excel(r'C:\Users\ednae\Documents\Reposit rios\e-waste\data
    \raw\Vers o em portug u s (PT-BR) (Responses)17-02.xlsx', index_col=[0])
12 df_d = pd.read_excel(r'C:/Users/ednae/Documents/Reposit rios/e-waste/data/
    raw/Denmark_18-06.xlsx', index_col=[0])
13
14 #Ajuste das colunas - Texto demasiadamente grande, provavelmente devido a #
    importacao do google forms
15
16 #Tamanho
17 print(df_c.columns.shape)

```

```

18 print(df_br.columns.shape)
19
20 cols_c = df_c.columns
21 cols_br = df_br.columns
22 cols_d = df_d.columns
23
24 #Agrupamento das questoes pelos grupos informados nos cabecalhos
25
26 # para base BR
27 cont=0
28 for itens in cols_br:
29     if '8. ' in itens[0:]:
30         cols_br.values[cont] = (itens.replace('Esta  estrat gia ', 'Esta
31             estrat gia '))
32         cont+=1
33
34 ## remocao do texto demasiadamente longo
35 text_reducer(cols_br, 'pt')
36 text_reducer(cols_d, 'en')
37 text_reducer(cols_c, 'en')
38
39 ## padronizacao da numeracao
40 padroniza_nomeclatura(cols_c)
41 padroniza_nomeclatura(cols_d)
42 padroniza_nomeclatura(cols_br)
43
44 df_c.columns = cols_c
45 df_br.columns = cols_br
46 df_d.columns = cols_d
47
48 df_c.rename(columns={'The strategies towards a circular economy will be
49     evaluated under a set of criteria/indicators , which are considered
50     qualitative because they cover multiple dimensions and subjectivity (
51     environmental , social , and economic). For this purpose , we elaborated on
52     the Likert-type scales , ranging from 1 (lowest level) to 5 (highest
53     level). Please evaluate each strategy giving your evaluation under this
54     scale (1-5). The following sections of the questionnaire will ask you
55     about your "perception" of how much this strategy contributes to the

```

transition towards a circular economy, in macro-level. Then, you should indicate your opinion based on the scale like the one presented below.  
' : 'explanation',

49 'In which country, region and city are you located?': 'Local',

50 'MHow do you evaluate your level of knowledge related to the circular economy [Level of knowledge: .1': 'Self knowledge about circular economy'}], inplace=True  
)

51

52 df\_d.rename(columns={'The strategies towards a circular economy will be evaluated under a set of criteria/indicators, which are considered qualitative because they cover multiple dimensions and subjectivity (environmental, social, and economic). For this purpose, we elaborated on the Likert-type scales, ranging from 1 (lowest level) to 5 (highest level). Please evaluate each strategy giving your evaluation under this scale (1-5). The following sections of the questionnaire will ask you about your "perception" of how much this strategy contributes to the transition towards a circular economy, in macro-level. Then, you should indicate your opinion based on the scale like the one presented below.  
' : 'explanation',

53 'In which country, region and city are you located?': 'Local',

54 'MHow do you evaluate your level of knowledge related to the circular economy [Level of knowledge: .1': 'Self knowledge about circular economy'}], inplace=True  
)

55

56 df\_br.rename(columns={'As estrat gias para uma economia circular ser o avaliadas segundo um conjunto de crit rios/indicadores, considerados qualitativos, porque abrangem m ltiplas dimens es e subjetividade (ambiental, social e econ mica). Para tanto, elaboramos uma escala ordinal, que varia de 1 (n vel mais baixo) a 5 (n vel mais alto). Por favor, avalie cada estrat gia considerando sua percep o com base nessa escala (1-5). As se es seguintes lhe questionar o sobre a sua "percep o" sobre quanto cada estrat gia contribui para a transi o para uma economia circular em n vel macro, com base na escala conforme apresentada abaixo.' : 'explica o',

57

'Em qual pa s, estado e cidade voc reside?': 'Local',

```

58         'Como voc avalia o seu n vel de conhecimento sobre
        economia circular [N vel de conhecimento: .1':
        N vel pessoal de conhecimento sobre economia
        circular'}], inplace=True)
59
60 # Feature que contem a localizacao dos entrevistados
61
62 df_br.rename({'Em qual pa s , estado e cidade voc reside?': 'Localidade'},
        axis=1, inplace=True)
63
64 locais = df['Localidade']
65 locais = pd.DataFrame(locais)
66
67 locais['col1'] = locais['Localidade']
68 locais['col2'] = locais['col1']
69 #locais['col3'] = locais['col1']
70
71 from distutils.log import error
72 from unittest import skip
73
74 cont=0
75 for itens in locais['Localidade']:
76     if (type(itens)!=str) and (len(itens)>0):
77         locais['col1'][cont] = itens[0]
78         locais['col2'][cont] = itens[1]
79
80     else:
81         locais['col1'][cont] = itens
82         locais['col2'][cont] = ''
83
84     cont+=1
85
86 # Substituicao da Escala Linkert e Binario
87
88 cont3=0
89 for coluna in df_c:
90     df_c.iloc[:, cont3] = df_c.iloc[:, cont3].apply(ordinal_encoder)
91     cont3+=1
92 #

```

```

93 cont3=0
94 for coluna in df_d:
95     df_d.iloc[:,cont3] = df_d.iloc[:,cont3].apply(ordinal_encoder)
96     cont3+=1
97 #
98 cont3=0
99 for coluna in df_br:
100     df_br.iloc[:,cont3] = df_br.iloc[:,cont3].apply(ordinal_encoder)
101     cont3+=1
102
103 # Ajuste da Feature: Tamanho das empresas
104
105 df_br['porte_empresa'] = df_br['porte_empresa'].apply(patternizer2)
106 df_c['company_size'] = df_c['company_size'].apply(patternizer2)
107 df_d['company_size'] = df_d['company_size'].apply(patternizer2)
108
109 # Na percepção dos entrevistados: Qual medida mais contribui para
    prevenir o # descarte incorreto de resíduos?
110
111 prev_incor = df_questoes.iloc[:,4::10]
112 prev_incor['size'] = df_c['company_size']
113 df_questoes['size'] = df_c['company_size']
114 df_questoes.fillna(df_questoes.median(),inplace=True)
115 df_questoes.shape
116 prev_incor.columns
117 prev_incor.iloc[:, -1].values
118
119 sns.boxplot(data=prev_incor, x=prev_incor.iloc[:,1].values, y=prev_incor.iloc
   [:, -1].values)
120
121 plt.figure(figsize=(20,8))
122 plt.boxplot(prev_incor.iloc[:, -1].values, notch='True', patch_artist =
    True, vert = 1)
123 plt.xlabel('Questões')
124 plt.xticks(np.arange(1,25), prev_incor.columns)
125
126 # Correlação entre as questões
127

```

```

128 df_means['lvl_conhecimento']=df['MComo voc avalia o seu n vel de
    conhecimento sobre economia circular [N vel de conhecimento]'.drop(['
    2020-08-06 14:34:28.106000', '2020-08-06 14:34:28.106000'], axis=0)
129
130 df22['Como voc avalia o seu n vel de conhecimento sobre economia
    circular [N vel de conhecimento: ]'].replace({'Very low': 'Muito baixo',
    'Neutral': 'Neutro', 'High': 'Alto', 'Very high': 'Muito alto'}, inplace=True
    )
131 df_means['lvl_conhecimento']=df22['Como voc avalia o seu n vel de
    conhecimento sobre economia circular [N vel de conhecimento: ]'].drop(['
    2020-08-06 14:34:28.106000', '2020-08-06 14:34:28.106000'], axis=0)
132
133 #Boxplots
134 #1 Media de respostas das quest es de acordo com ocupa o
135 #2 Media de respostas das quest es de acordo com o grau de conhecimento do
    tema
136
137 #1
138 import plotly.express as px
139
140 fig = px.box(df_means, y=df_means.columns[0:-1]) #, color='porte ')
141 fig.update_traces(quartilemethod="exclusive") # or "inclusive", or "linear"
    by default
142 fig.show()
143
144 #2
145 import plotly.express as px
146
147 fig = px.box(df_means, y=df_means.columns[0:-2], color='lvl_conhecimento')
148 fig.update_traces(quartilemethod="exclusive") # or "inclusive", or "linear"
    by default
149 fig.show()

```

Listing 2 – Código fonte em Python