

# **Economia Circular no *Packaging* de Bens de Consumo**

**Duarte Mascarenhas Mimoso Tavares Ribeiro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

## **Engenharia e Gestão Industrial**

Orientadores: Prof. Henrique Aníbal Santos de Matos  
Eng<sup>o</sup>. Tiago Pinheiro Duarte Filipe

Júri:

Presidente: Prof. Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa  
Orientador: Prof. Henrique Aníbal Santos de Matos  
Arguente: Prof. Ana Catarina Gouveia Braz

**Novembro de 2021**



# Agradecimentos

O meu sincero agradecimento a todos aqueles que me acompanharam no percurso que culminou no desenvolvimento desta tese.

Um especial agradecimento ao meu Pai José João Tavares Ribeiro, por ser pai, amigo, confidente, verdadeiro e que sem a sua contribuição esta dissertação não teria sido possível.

Pelo seu apoio incondicional e por saber que este documento seria um motivo de enorme felicidade e satisfação na sua vida, dedico esta tese em sua memória.

À minha Mãe, irmã, namorada e amigos pelo seu apoio incondicional e pela sua presença ao longo de todo este percurso.

Aos meus orientadores, Henrique Aníbal Santos de Matos e Tiago Pinheiro Duarte Filipe (Empresa A), o meu profundo agradecimento pela sua disponibilidade, dedicação, experiência, confiança e valioso apoio.

À Empresa A e a todos os seus colaboradores agradeço pela sua valiosa contribuição nos casos de estudo e no conhecimento que me transmitiram.

## **Resumo**

Num mercado altamente competitivo, a sustentabilidade empresarial exige que um caminho estratégico seja medido. Este caminho estratégico inclui a migração para modelos de negócios sustentáveis e circulares. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso que visa construir uma ferramenta de medição que auxilie os tomadores de decisão na transição para a sustentabilidade empresarial aplicada a um mercado de embalagens plásticas flexíveis. A ferramenta deve resultar em uma métrica de economia circular, onde vários indicadores são considerados e medem diversos aspectos ao longo de todo o ciclo de vida do produto. O índice deve ser capaz de fornecer informações de valor agregado sobre o progresso de produtos de base bio e reciclados, em qualquer estágio do processo e, simultaneamente, fornecer informação detalhada sobre quais os fatores que estão a retardar ou a promover a transição.

O estudo foi realizado numa empresa que atua no mercado de embalagens plásticas flexíveis, O objetivo da sustentabilidade do negócio foi definido na estratégia da Empresa A, de promover o desenvolvimento de novos produtos em dois segmentos distintos: Produtos de base biológica, que possuem biomateriais na sua composição e são biodegradáveis em condições naturais ou industriais. Estes produtos devem ser produzidos desta forma quando são projetados para estarem integrados no ciclo biológico; Produtos aptos para se manterem no ciclo tecnológico, devendo aumentar a composição do conteúdo reciclado, para manter os clientes no circuito em ambiente de economia circular. Para tanto, novos modelos de negócios devem ser criados, novos designs de produtos devem ser considerados e um mecanismo de controlo deve ser definido, exigindo métricas quantitativas de avaliação, bem definidas.

O desenvolvimento da ferramenta de medição seguirá uma metodologia desenvolvida na Empresa A exigindo etapas sobre a seleção dos diversos indicadores em todo o processo. O resultado deve ser holístico, proporcionando aos tomadores de decisão da empresa uma imagem clara do desempenho da empresa em sustentabilidade, considerando os aspectos económicos, ambientais e sociais, aliados à circularidade do material. A solução fornecerá informações sobre as taxas de reciclagem da empresa, conteúdo reciclado e de base biológica, criação de valor com o material reciclado internamente, orientação para design e também para aspectos mais amplos de sustentabilidade como consumo taxas de desperdício e *Overall Equipment Efficiency*.

## **Palavras-Chave**

Embalagem flexível; Economia circular; Sustentabilidade; Controle da estratégia de negócios; Métricas e ferramenta de medição; bio polímeros; polímeros reciclados.

## ***Abstract***

In a highly competitive market business sustainability requires a strategical path that needs to be measured. This strategical path includes the migration to sustainable and circular business models. The aim of this work is to present a case study that aspires to build a measurement tool that assists the decision makers in the transition to business sustainability applied to a flexible packaging market. The tool must result on a circular economy index, where several indicators are considered and measure several aspects across the entire product life cycle. The Index must be able to give value added information about the progress to Bio-based and Recycled products, at any stage of the process, and simultaneously, to provide insights about what are bottlenecks and the drivers that are slowing down or promoting the transition.

The study was performed in a company that operates on the flexible plastic packaging market, Company A. The goal for business sustainability was set in Company A strategy, to promote the development of new products under two different segments: Bio-based products, that have biomaterials in its composition and are biodegradable under natural or industrial conditions. Those products must be produced when its own usability is designed to be in contact with the biological cycle. The other segment is when products are fit to be kept in the technological cycle, they must increase the composition of recycled content, keeping the customers in the loop in a circular economy environment. To achieve such goal, new business models must be created, and new designs of the products must be considered, and a control mechanism must be set, requiring well defined metrics.

The development of the measurement tool will follow a methodology developed in Company A requiring steps about the selection of the several indicators in the whole process. The result must be holistic by giving the decision makers at Company A, a clear picture of the company sustainability performance, considering the economic, environmental, and social aspects allied to the circularity of the material loop. The solution will provide information regarding the recycling rates of the company, recycled and bio based content, value creation with the material that was recycled internally, guidance for design as well as more broad sustainability aspects like waste rates and Overall Equipment Efficiency.

## ***Keywords***

Flexible packaging; Circular Economy; Sustainability; Business strategy control; metrics and measuring tool; biopolymers; recycled polymers.



# Índice<sup>1</sup>

Agradecimentos.....	iii
Índice .....	vii
Lista de Acrónimos .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Índice de Figuras .....	xii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização do Problema.....	1
1.2. Motivação .....	2
1.3. Objectivos da Dissertação.....	2
1.4 Estrutura da Dissertação .....	3
2. Identificação do Problema .....	5
2.1 Contexto Prático – Empresa A.....	5
2.1.1 Apresentação Empresa A.....	5
2.1.2 Empresa A e a sustentabilidade.....	5
2.1.3 Sector Operacional da Empresa .....	6
2.2 Definição do Problema .....	10
3. Revisão de Literatura .....	11
3.1 Economia Circular .....	11
3.1.1 Contexto Histórico .....	11
3.1.2 Nexus Economia Circular e Sustentabilidade.....	12
3.1.3 Definição de Economia Circular.....	14
3.2 Indústria do Plástico de embalagens para Bens de Consumo .....	24
3.2.1 Plástico - Os factos .....	24
3.2.2 Plástico e Economia Circular – Acções e Barreiras.....	27
3.3 Indicadores de Economia Circular .....	31
3.3.1 O que são indicadores .....	31

---

<sup>1</sup> N.B.: Em defesa da Língua Portuguesa o autor deste documento não adopta o Acordo Ortográfico de 1990 por este ser incoerente, inconsistente e inconstitucional, além de, comprovadamente, ser causa de crescente iliteracia em publicações oficiais, na imprensa e na população em geral.

3.3.2 Sistematização dos Indicadores de Economia Circular .....	32
4. Metodologia .....	35
4.1 Sensus stricto .....	36
4.1.1 Dois sets de Indicadores .....	37
4.1.2 %TEC – Total Entradas Circulares .....	37
4.1.3 %TSC – Total Saídas Circulares .....	38
4.1.4 ReceitaCTI (Circular Transition Indicators) .....	39
4.1.5 RácioCTI .....	40
4.1.6 CEI – Circular Economy Index .....	40
4.1.7 CAV- Circular Added Value .....	41
4.1.8 Recycling Rates (RRs) – R1, R2 e R3 .....	43
4.2 Sensus latu .....	44
4.2.1 OEE – <i>Overall Equipment Efficiency</i> .....	44
4.2.2 Taxa de Desperdício .....	47
5. Resultados obtidos .....	49
5.1 Sensus stricto .....	49
5.1.1 <i>Indicadores de Ciclo de Vida do Produto</i> .....	49
5.1.2 Indicadores da Unidade de Reciclagem .....	56
5.2 Sensus latu .....	67
5.2.1 O sector IMP – Impressão .....	67
5.2.2 O setor SeR – Sacos em Rolo .....	73
6. Conclusões .....	78
Bibliografia .....	81



# Lista de Acrónimos

- %TEC – Total de Entradas Circulares
- %TSC – Total de Saídas Circulares
- 3R- Reduzir, Reutilizar, Reciclar
- 4R- Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar
- 6R- Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar, Redesign, Remanufactura
- CAV – Circular Added Value
- CE – Circular Economy - Economia Circular
- CEI – Circular Economy Index
- EMF - Ellen MacArthur Foundation
- EoL - End of Life – Fim de Vida do Produto
- FMCG - Fast Moving Consumer Goods- Bens de Consumo de Movimento Rápido
- KPI - Key performance indicators
- MSW – Municipal Solid Waste – Resíduos Sólidos Municipais
- NAFTA – North America Free Trade Agreement - Tratado Norte-Americano de Livre Comércio
- PCR - Post Consumer Resins - Resinas Pós-Consumo
- PE-HD – Polietileno de alta densidade
- PE-LD – Polietileno de baixa densidade
- PE-LLD – Polietileno Linear de baixa densidade
- PE-MD – Polietileno de média densidade
- PIR - Post Industrial Resins - Resinas Pós-Industriais
- PP – Polipropileno
- RRs – Recycling Rates
- SDGs - Sustainable Development Goals – Objectivos para o Desenvolvimento Sustentável
- SUP – Single-Use Plastics
- UNEP – United Nations Environment Programme
- WBCSD – World Business Council for Sustainable Development
- YoY – Year over Year
- EPA – United States Environmental Agency
- OEE – Overall Equipment Agency



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Adaptado de [11].....	22
Tabela 2- Resultado dos Indicadores de Circularidade numa gama de produtos selecionados pela Empresa A.....	49
Tabela 3- Resultados Indicador %TEC .....	50
Tabela 4- %TEC total Empresa A .....	51
Tabela 5- Resultados Indicador %TSC .....	52
Tabela 6- Valores de reciclado associado ao produto N .....	55
Tabela 7- Valores ReceitaCTI e RácioCTI .....	56
Tabela 8- Cenário 1: Diferente Fornecedor, Diferente Pureza .....	60
Tabela 9- Cenário 2: Mesma Pureza, Diferente Fornecedor .....	62
Tabela 10- Cenário 3: Mesmo Fornecedor, Mesma Pureza, Datas Diferentes .....	64
Tabela 11- Excerto da folha de velocidades ideais.....	68
Tabela 12- Excerto das colunas de Z a AD da folha de produção. ....	69
Tabela 13- Excerto da folha de produção entre a coluna M e P.....	69
Tabela 14- Tempo total e Tempo planeado de produção para a máquina IM-08, no ano de 2021 .....	70
Table 15- Results for Product X .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Table 16-Waste stream indicator breakdown.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# Índice de Figuras

Figura 1- Sistema da Empresa A .....	7
Figura 2- Sistema do Pavilhão de PCR.....	9
Figura 3- Sustainable Developments Goals (Documento instalado do site oficial <a href="https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/">https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/</a> ).....	13
Figura 4- Adaptado de <a href="https://www.unssc.org/news-and-insights/blog/sustainable-development-what-there-know-and-why-should-we-care/">https://www.unssc.org/news-and-insights/blog/sustainable-development-what-there-know-and-why-should-we-care/</a> (consultado em 03/04/2021).....	13
Figura 5- Potenciais iniciativas circulares no ciclo de valor. Adaptado de [81].....	15
Figura 6- Adaptado de <a href="https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic">https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic</a> (consultado em 03/04/2021).....	16
Figura 7- <a href="https://doughnuteconomics.org/about-doughnut-economics">https://doughnuteconomics.org/about-doughnut-economics</a> (consultado em 03/04/2021)...	17
Figura 8- Adaptado de Reike, 2018. Adaptado de [40].....	18
Figura 9- Fluxo anual da indústria de embalagens de plástico 2013, adaptado de [5] .....	25
Figura 10- Famílias de Plásticos [76] .....	26
Figura 11- Economia Circular na Indústria dos plásticos [78].....	27
Figura 12- Valor económico potencial por mudança de design, adaptado de [78].....	28
Figura 13- Oportunidades para reutilização de embalagens, adaptado de [78] .....	29
Figura 14- Impacto potencial de medidas na indústria de embalagens de plásticos, adaptado de [78] .....	29
Figura 15- Organização dos indicadores em relação ao seu enquadramento. ....	33
Figura 16- Diagrama de níveis de economia circular. Retirado de [85].....	34
Figura 17- Indicadores propostos para a métrica.....	35
Figura 18- Framework de indicadores do Sensu stricto.....	36
Figura 19- Indicadores Ciclo de Vida do Produto .....	37
Figura 20- Indicadores Unidade de Reciclagem .....	37
Figura 21- Estrutura de decisão utilizando o CEI e o CAV .....	42
Figura 22- Criação de unanimidade entre indicadores .....	42
Figura 23- Esquema dos rácios de reciclagem ao longo do processo produtivo .....	43
Figura 24- Indicadores Sensu Latu .....	44

Figura 25 - Fórmula OEE .....	45
Figura 26- Reciclagem de embalagens de plástico Portugal (visto a 22/09/2021). <a href="https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASPACR__custom_422013/default/table?lang=en">https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASPACR__custom_422013/default/table?lang=en</a> .....	54
Figura 27- Valores de reciclagem para MSW 2018, EUA (visitado a 23/09/2021); <a href="https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data">https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data</a> .....	54
Figura 28- Fardos empilhados (Material de entrada unidade de reciclagem PCR .....	57
Figura 29- Granulado (Produto acabado) .....	57
Figura 30- Separador de Balístico e respectivo diagrama. Consultado a 10/10/2021 ( <a href="https://www.eggsmann-recyclingtechnology.com/en/recycling-machines/brt-hartner-opening-dosing-and-sorting-systems/products/ballistic-separator-brt-hartner-bs/">https://www.eggsmann-recyclingtechnology.com/en/recycling-machines/brt-hartner-opening-dosing-and-sorting-systems/products/ballistic-separator-brt-hartner-bs/</a> ) ( <a href="http://metaltechsystems.com/product/h2ballsort/">http://metaltechsystems.com/product/h2ballsort/</a> ).....	58
Figura 31- Recycling Input Characterisation Guidelines: PE Films, Plastic Recyclers Europe .....	66
Figura 32- Colunas da folha de produção IMP .....	67
Figura 33- OEE Total Acumulado e OEE Acumulado por máquina IMP .....	71
Figura 34- Desperdício Total Acumulado e Desperdício Acumulado por máquina IMP .....	72
Figura 35- Colunas folha de produção SeR .....	73
Figura 36- Cálculo de Qt Produzida Ideal .....	74
Figura 37- OEE por Sub-Sector SeR .....	75
Figura 38- Taxa de Desperdício Sub-Sectores SeR.....	76
Figure 39- Seven indicators in BCG framework .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização do Problema

*“The world will not evolve past its current state of crisis by using the same thinking that created the situation.”* – Albert Einstein

A grande primavera da evolução recente teve origem na revolução industrial iniciada no Reino Unido. A substituição do homem pela máquina e o aumento de produção em múltiplos elevados, deve ter sido uma breve impressão da Lei de Moore, para estes industrialistas inovadores. O conhecimento da altura ditava que o Planeta Terra era demasiado vasto e permitia uma fonte inesgotável de recursos a todos os caprichos e vontades evolutivas do ser humano. Ralph Waldo Emerson, resume bem o contexto cultural em que se vivia “A Natureza, no senso comum, refere-se a todas as essências intocadas pelo homem: espaço, o ar, o rio, a folha”.

Em retrospectiva, num exercício bem colocado pelos autores *Michael Braungart* e *William McDonough*, se tivesse que ser concebido o sistema económico linear com respeito às suas consequências negativas, a lista seria inevitavelmente longa, onde se encontravam pontos como, destrói a biodiversidade e as práticas culturais, formulação de enormes regulamentações não para manter os seres humanos e animais seguros, mas simplesmente, para não adoecerem tão explicitamente, produção de materiais tão perigosos que exige uma monitorização constante para as recentes e futuras gerações e, finalmente, criando prosperidade através da extracção de recursos naturais para depois enterrá-los e transformá-los num enorme monte de lixo.

Num olhar atento à nossa sociedade de consumo, fica claro que há pouca coisa que é efectivamente consumida, e que, na sua maioria, tudo o resto é concebido para ser utilizado e “deitado fora”. A primeira pergunta que surgiria a um observador fora do nosso paradigma seria perguntar o que é efectivamente “deitar fora”? A resposta é infeliz e retrógrada.

A meta de atingir emissões neutras até 2050 e manter a subida de temperatura desde níveis pré-industriais abaixo dos 1,5°C requer esforços activos e um paradigma diferente do actual. Até à data, esforços para a transição de energia limpa complementada por maior eficiência energética contribuiria com apenas 55% dos esforços necessários para atingir as metas estipuladas. Os restantes 45% advém dos bens de consumo utilizados mundialmente como, roupas, plásticos, materiais de construção e alimentação. Estas indústrias não conseguem ser devidamente endereçadas no espaço temporal exigido, sem um compromisso assertivo no novo sistema de Economia Circular.

Este documento é suportado por uma forte crença de quem o escreve que a mudança, a ser aquela que aqui se elabora, é promissora para um desenvolvimento mais enquadrado nas realidades da espécie humana e no sistema fechado em que se insere, o Planeta Terra. O que aqui se apresenta é a transição para Economia Circular como alternativa de um sistema económico linear ineficiente de

“Take-Make-Waste”. Uma oportunidade, segundo o *World Economic Forum*, de 4,5 biliões de dólares (4,5 trillion USD) até 2030. [1]

Em perspectiva, utilizando uma metodologia de Economia Circular a cinco segmentos fundamentais, como o cimento, alumínio, aço, alimentação e plásticos, seria o mesmo que reduzir a zero as emissões actuais de todos os meios de transporte. Seriam 9,3 mil milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>eq em 2050.

A presente dissertação foca-se num dos cinco segmentos fundamentais, o Plástico, onde procura dar um contributo valioso e uma nova perspectiva à sua utilização e monitorização.

## 1.2. Motivação

A motivação deriva de duas grandes fontes. A pessoal, proveniente das próprias crenças de quem escreve este documento, que procurou activamente um tema que se enquadrasse em um caso com valor prático e aplicável numa temática vanguardista que promova um impacto positivo e alcançável no tecido mais profundo da sociedade. Em segundo lugar, a motivação é proveniente da Empresa A, que se comprometeu em inovar soluções sustentáveis e relevantes que possam ser baluartes para o que é a transição para Economia Circular. Esta empresa quer fazer parte dessa oportunidade, tanto por valor económico, como pelos próprios benefícios mundiais que resultam. Para tal, começa por ser necessário ferramentas que permitam indicar em que estado dessa transição se encontra o tecido empresarial. Neste caso, não existindo ainda consenso como deve ser mensurada essa transição, como é o caso das emissões de CO<sub>2</sub> para as alterações climáticas, a Empresa A decidiu criar a sua métrica para a Economia Circular, sendo sempre, para bem do rigor e coerência científica, vinculado ao que é referenciado na pesquisa bibliográfica de fontes fidedignas.

A intersecção entre as duas motivações referidas culmina na formulação da dissertação que é aqui apresentada.

## 1.3. Objectivos da Dissertação

O objectivo desta dissertação é preparar e criar conhecimento para o que será a formulação da métrica de Economia Circular para a Empresa A. A trabalho foi dividido em duas fases distintas. Na primeira, as metas são conhecer a estrutura e as actividades da Empresa A e as suas intenções com o desenvolvimento deste trabalho, realizar pesquisa bibliográfica relevante ao contexto do problema e, finalmente, organizá-la de tal forma que, no final, toda a informação esteja preparada para ser desenvolvida na fase subsequente. A segunda fase, consiste em propor um conjunto de indicadores que serão expostos a vários casos reais dentro da empresa, onde se espera que devolva resultados relevantes e úteis não só para a própria empresa, mas para toda a indústria transformadora de plástico.

No decorrer desse processo, foi fundamental colaborar proximamente com a Empresa A, existindo uma transferência bilateral de informação entre o que é lido na bibliografia, muitas vezes teórica, e o que realmente acontece no sector operacional da empresa.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

O presente documento é composto por diversos capítulos que, em um seguimento lógico, fornece informações sucessivas que possibilitam o leitor acompanhar as fases seguintes da leitura e que permitem compreender as conclusões que poderão ser retiradas no final da leitura deste documento. Os capítulos existentes são:

A **introdução**, onde é realizada uma breve contextualização do problema proposto, acompanhado pelas motivações que levaram à realização deste documento.

A **identificação do problema** apresenta a empresa em que esta dissertação vai ser desenvolvida, no seu contexto histórico e na sua estrutura operacional, terminando com uma descrição concreta do problema proposto pela empresa.

A **revisão de literatura** procura analisar o conhecimento mais recente na literatura das matérias que irão ser fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação, a Economia Circular, os Plásticos e o que são indicadores no contexto de Economia Circular.

A **metodologia** faz uma extensa apresentação dos indicadores obtidos na literatura e os que foram desenvolvidos pela primeira vez nesta dissertação, divididos nos dois grupos que foram criados.

O capítulo **resultados obtidos** apresenta e análise e uma interpretação dos valores obtidos nos casos reais da Empresa A, onde se aplicaram os indicadores. São dadas justificações para os resultados e sugestões de melhoria para o futuro.

Termina nas conclusões, onde é feita uma retrospectiva do trabalho realizado nesta dissertação e o impacto que teve ou espera ter nos temas que abordou.





## 2. Identificação do Problema

Este capítulo dedica-se à apresentação da empresa no qual o caso de estudo foi desenvolvido. Posteriormente, é contextualizado o problema proposto nesta dissertação, descrevendo o âmbito e o objectivo pretendido. Na parte final deste capítulo apresenta-se uma síntese do mencionado em toda a sua extensão e uma nota introdutória aos capítulos posteriores.

### 2.1 Contexto Prático – Empresa A

#### 2.1.1 Apresentação Empresa A

A actividade da Empresa A inicia-se em 1968 com a produção do seu primeiro produto, máquinas de marcar preço e respetivas etiquetas de marcação. O negócio rapidamente evoluiu e, com ele, alargou-se a gama de produtos produzidos, nomeadamente, cuvetes de papel prensado, filmes e máquinas de embalagem. Vários foram os momentos marcantes ao longo de toda a sua história, tendo sido acompanhada por um crescimento gradual e consistente com a introdução de soluções e produtos que têm vindo a beneficiar muitos dos seus utilizadores.

As suas áreas de operações concentram-se na transformação de plástico e papel para produção de bens de consumo oferecendo, actualmente, uma gama de mais de 1500 produtos que são vendidos pelos cinco continentes e que é produzida por mais de 250 colaboradores. Destaca-se por ser a marca mais antiga do mercado português na área de embalagens para conservação alimentar doméstica e sacos para lixo.

Demarca-se das restantes com um espírito inventivo e inovação constante que permite, nos produtos produzidos, uma constante readaptação às exigências sociais, ambientais e económicas, antecipando tendências ou até, criando-as.

#### 2.1.2 Empresa A e a sustentabilidade

Desde muito cedo que a empresa A se focou em acompanhar o crescimento das variáveis de carácter menos económico, mas com uma relevância que se enquadra nos valores e na missão de quem, em primeiro lugar, a criou. Estas são as variáveis sociais e ambientais.

Na vertente social, tem uma área de influência que se alarga para fora das suas instalações e que abrange as comunidades locais inseridas no raio da sua localização, apoiando festas locais, grupos desportivos, escolas e instituições. Destaca-se também o facto de que grande parte da força laboral desta empresa reside nas localidades circundantes, ajudando a dinamizar o desenvolvimento económico e o bem-estar da população.

Respeitante ao cariz social, mas com foco no interior das suas instalações, a empresa A aposta numa força laboral justa e igualitária, em que todos, sem excepção, têm um contributo activo na sociedade. Por esta razão, 7,2% da sua força laboral são deficientes físicos ou mentais. Asseguram também as medidas de saúde e segurança básicas, investindo na prevenção e na formação contínua para adopção de comportamentos mais conscientes e para valorização pessoal de todos os seus colaboradores.

No carácter ambiental, por reconhecer que a indústria em que se insere tem sido alvo de um mediatismo negativo, tem colocado grandes esforços na mitigação dos seus impactos e na valorização dos seus produtos. Fá-lo, actualmente, das mais variadas formas, nomeadamente, utilização de energia fotovoltaica *in situ* que representa 18% do consumo energético total e 535 toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas, sistema de iluminação LED que reduz em 40% o consumo, reciclagem da maioria do desperdício da actividade produtiva e reintegração do mesmo no sistema de produção com reduções de 40% na utilização de matéria-prima virgem e muitas outras que não serão aqui discriminadas.

No final do ano 2020, a Empresa A deu um passo pioneiro e relevante para alavancar a sua posição face ao pilar ambiental. Investiu numa unidade única em Portugal, com apenas três iguais na Europa, de recolha, separação e extrusão de PCR (Resinas Pós Consumo) em matéria-prima pronta a ser inserida em novos produtos e soluções. Um sistema que antecipa a transição para Economia Circular e que promete trazer resultados positivos no desempenho ambiental e económico da empresa. Em relação a materiais PIR (Resinas Pós Industriais) produzidos internamente, a empresa já fazia o tratamento e reintrodução no ciclo há mais de 20 anos.

O pilar económico e os seus resultados positivos, sustentam-se, não só com a longa história que a Empresa A já apresenta, desde 1968, mas também pelo crescimento ano após ano de aproximadamente 8%, permitindo fortalecer os pilares social e ambiental com as iniciativas anteriormente mencionadas.

### 2.1.3 Sector Operacional da Empresa

Acompanhando o modelo clássico de estrutura empresarial, a Empresa A é composta por diversos sectores com actividades distintas. Não obstante a importância de todos os sectores, é especialmente importante o foco num sector em especial, para a tese desenvolvida neste documento, o sector Operacional. Neste sector são utilizados três materiais diferentes para a produção de produtos, plástico, alumínio e papel, contudo, pelas razões descritas no subcapítulo 2.2, a produção de produtos de plástico será aquela no qual irá incidir o nosso estudo.

Este sector é composto por seis unidades funcionais que completam todo o ciclo de vida do produto, desde a matéria-prima até ao processo EoL (End of Life). Estas seis unidades funcionais são: *Extrusão*, *Impressão*, *Corte*, *Embalamento*, *Reciclagem PIR* e *Reciclagem PCR*.

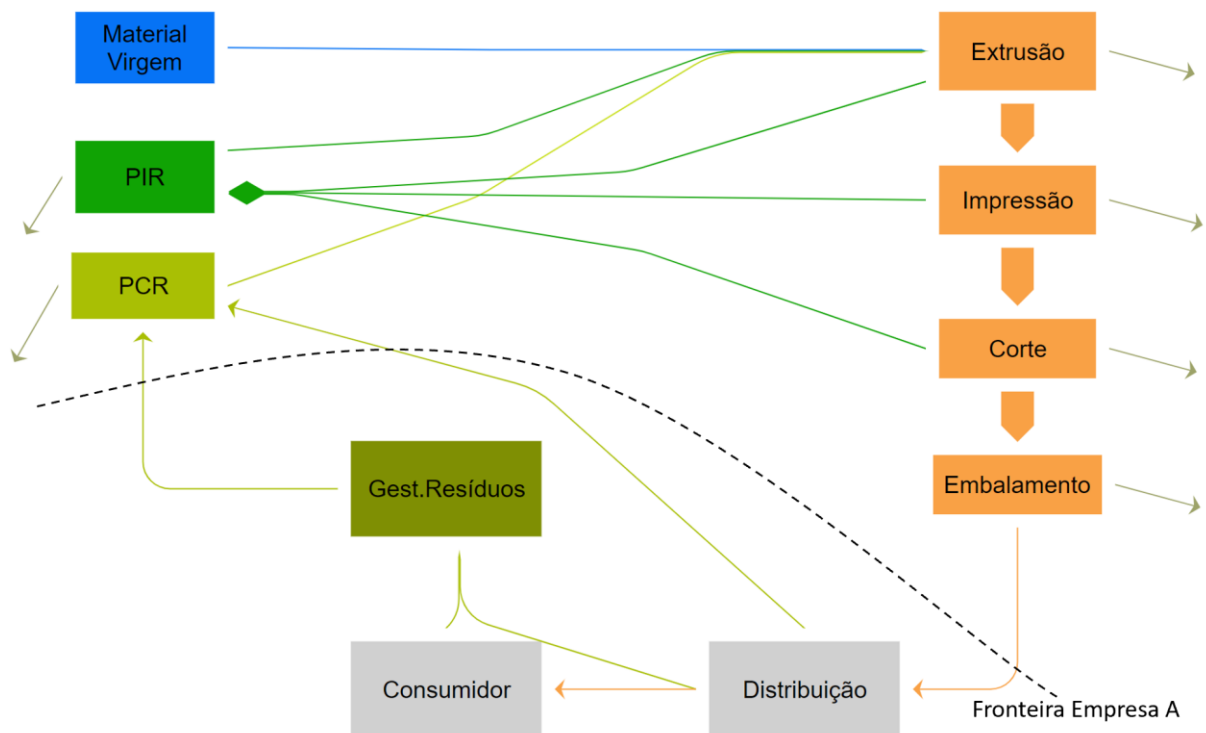


Figura 1- Sistema da Empresa A

Como é visível na fig.1, as seis unidades funcionais estão harmoniosamente interconectadas, não só entre si, como também com outros intervenientes da cadeia de valor do caso em estudo. A linha tracejada presente na fig.1 representa a fronteira do sistema que vai ser analisado. Neste contexto, importa apenas conhecer o que sai na secção *Embalamento* e as características do que entra em *PCR*. É importante referir que, apesar de existir uma diversa gama de produtos à base de plástico no portefólio da Empresa A, todos eles são sujeitos às unidades funcionais abaixo descritas. Contudo, entre produtos, poderão existir linhas de produção diferentes, em pavilhões diferentes, que dão vida à heterogeneidade de oferta. Na fig.1 as setas que apontam para o vazio são referência aos resíduos provenientes da actividade que não são reciclados internamente (ex: papel).

**Extrusão:** Este processo é aquele que se encontra mais a montante na linha de produção interna da empresa. Inicia-se com a introdução da fórmula que caracteriza o material produzido. Com isso, uma misturadora trata de agregar as várias percentagens de material para a fórmula, nomeadamente, o granulado plástico, que pode ser virgem (Bio ou Fóssil) ou reciclado (Bio ou Fóssil), em que, no caso do último, é proveniente das unidades *Reciclagem Externa* e *Reciclagem Interna*, explicadas nas definições que se sucedem.

Juntamente ao granulado, adiciona-se *masterbatch*, ingrediente para dar cor ou outras propriedades necessárias ao produto final. Seguidamente, a extrusora produz um filme que é então organizado em formato bobine, que irá servir para alimentar as secções subsequentes. O desperdício presente neste processo é transportado para a secção de *Reciclagem Interna (PIR)* de forma a ser reinserido no processo ilustrado na fig.1.

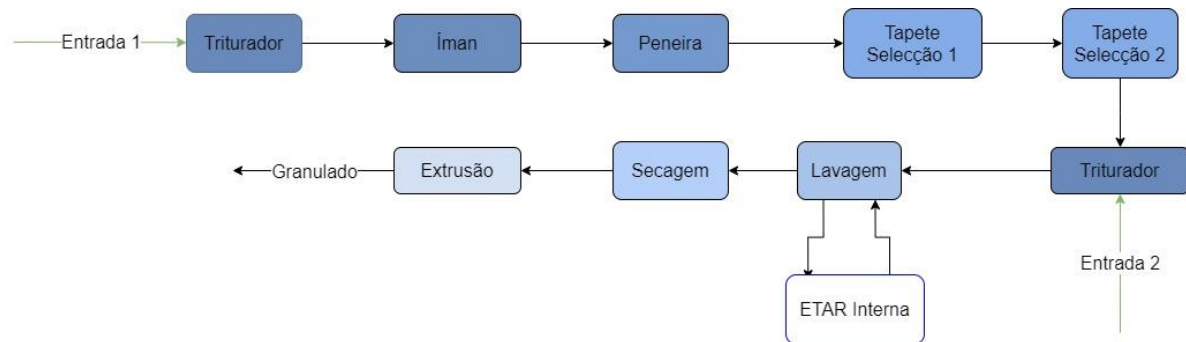
**Impressão:** As bobines previamente concluídas são encaminhadas para uma impressora industrial que coloca no filme de plástico a impressão cujo cliente determinou. As tintas utilizadas neste processo são de base aquosa, substituindo as anteriores de base solvente, sendo, portanto, menos tóxicas para todo o ecossistema.

**Corte (Acabamento Final):** O corte ou acabamento final, apesar de transversal a todos os produtos, não obedece aos mesmos requerimentos. A bobine começa por ser desenrolada para que possa ser gradualmente cortada para as dimensões requeridas para o produto. Sabendo que as bobines podem ter diferentes dimensões, nem todas estão sujeitas ao corte mencionado. Após esse passo, são adicionados os detalhes ao produto semi-acabado (traço picotado, tira fecho-fácil, tira fecho automático...). Estas várias fases são colocadas em linhas automáticas que se executam sem a intervenção humana. Algumas dessas linhas, dependendo do nível de automação podem incluir o processo de *embalamento*.

**Embalamento:** O processo de *embalamento* tal como o processo de *corte ou acabamento final*, apesar de transversal para todos os produtos, não obedece sempre aos mesmos requerimentos. Diferentes clientes exigem diferentes normas, podendo influenciar na forma como são embaladas. As linhas de embalagem existem em diferentes pavilhões da Empresa, cada um delegado a uma gama de produtos. As linhas podem ser totalmente manuais, semi-automáticas, ou automáticas de acordo com o nível de automação estabelecido. No caso do processo Manual, o operador é responsável por contar o número de unidades, colocar na caixa e selá-la, efetuando todo o processo. No processo semi-automático, o operador é parcialmente auxiliado por maquinaria existente no pavilhão para o embalagem. Finalmente, no processo automático, toda a maquinaria é totalmente responsável por todo o processo de embalagem. Regularmente, as embalagens secundárias, terciárias ou de nível superior são produzidas em cartão. Nesses casos, essas embalagens são produzidas externamente e encomendadas de acordo com as especificações do cliente (Distribuição, ...)

**PIR:** Esta unidade é responsável pela reciclagem dos desperdícios de toda a fábrica (todas as unidades funcionais de todos os tipos de produto). Para além dessa função elementar, é também responsável pelo abastecimento de matéria-prima virgem a todas as unidades da fábrica. Tanto o produto virgem como o reciclado é reinserido nos processos de produção da Empresa A. Independentemente do tipo e cor de resíduo que entre na reciclagem, o produto acabado tem, maioritariamente, apenas quatro versões, Baixa densidade Branco ou Preto e Alta Densidade Branco ou Preto. Pode também reciclar Bio-Plástico, no entanto, requer precaução pois a mistura de Bio-Plástico com Plástico convencional fóssil contamina ambas as cadeias. À exceção do produto acabado de base Bio, que é armazenado e solicitado pontualmente, todo o restante material é totalmente reutilizado na produção interna de novos produtos, numa base regular.

**PCR:** Esta unidade funcional decorre no pavilhão de Economia Circular. Aqui, resíduos de filme plástico, de diferentes variedades, são inseridos na linha de reciclagem e transformados no granulado plástico, de forma a serem vendidos como matéria-prima para outros produtores ou inseridos no processo de produção da Empresa A. Esses resíduos são provenientes de parceiros, externos à Empresa A. Esta unidade compreende vários estágios entre a entrada do resíduo até à criação do produto final (fig.2).



*Figura 2- Sistema do Pavilhão de PCR*

A primeira etapa consiste no corte do material inserido na linha em menores dimensões de forma a ser mais facilmente processado. Na segunda etapa, o material triturado é submetido a um Íman que retira material ferromagnético da linha. A terceira etapa, a Peneira, num tapete inclinado com granulometria pré-determinada, retira os materiais com dimensão excessiva e os materiais com dimensão demasiado reduzida. Após o processo de triagem por dimensões, o material inicia a triagem qualitativa na quarta etapa, sendo colocada em tapetes de selecção de tecnologia NIR (Near-infrared spectroscopy), colocados em série, que separam por tipo de plástico e por cor, respectivamente. Neste processo também existe a criação de resíduos que são devidamente separados da linha de produção. A quinta etapa consiste numa segunda unidade de corte. Existe como uma segunda entrada na linha de produção para material que já está previamente separado, não tendo que atravessar a linha de triagem. Na sexta etapa, o material, já devidamente cortado, entra no processo de lavagem. O material sofre mais uma divisão por densidades, em que o mais e menos denso são separados e retirados através de uma solução aquosa. O material desejado permanece no meio da solução e dá continuidade à linha de produção. A etapa da lavagem é auxiliada por uma ETAR, que faz a limpeza e tratamento das águas utilizadas no processo de forma a reintroduzir na linha de produção. Finalmente, o material é reencaminhado para um tambor de secagem que posteriormente envia o material já seco para a extrusora. Nesse último processo o resultado é o granulado que poderá ser utilizado internamente ou externamente.

## 2.2 Definição do Problema

Com o decorrer de novas políticas ambientais a serem implementadas a nível nacional, Europeu e mundial, motivadas pela visível degradação de ecossistemas devido à inconstante actividade humana, uma transição para atitudes e consciência holística na forma como são definidas estratégias nas empresas é, mais do que nunca, essencial.

A Economia Circular está no epicentro de todas essas medidas, incentivando modelos e estratégias sustentáveis ou inviabilizando movimentos e estratégias que sejam hostis para os pilares da sustentabilidade.

Para que medidas que sejam aplicadas, comprovem o que teoricamente prometem, é necessário a criação de mecanismos facilmente mensuráveis e que materializem a tendência da mudança, tanto pela positiva como pela negativa, no espectro da Economia Circular e Sustentabilidade.

A Empresa A, como já mencionado nas secções anteriores, está inserida numa indústria que é actualmente alvo de escrutínio e difamação pelo tipo de produtos que fabrica, produtos esses que são uma pegada humana facilmente representativa dos efeitos negativos da actividade económica. Assim é a indústria dos plásticos. Por esta razão e pelo facto de que, nesta Empresa, a produção de produtos à base de plástico representa aproximadamente 80% do volume de negócio, criou-se o desafio de instalar um sistema mensurável representativo da prestação da Empresa, no cumprimento dos objectivos a que se propõe. Esse sistema mensurável, será composto por diversos indicadores de natureza diversa, exaustivamente deliberados e seleccionados dos demais representados no estado de arte, que após reunidos num único sistema, a que denominamos métrica, permitirá que a Empresa A conheça a sua classificação qualitativa/quantitativa e assim se torne uma referência para agentes de mudança dentro da organização.

É do interesse desta organização que o resultado desta dissertação, a métrica de Economia Circular (IEC), seja de fácil compreensão tanto para os vários níveis hierárquicos da empresa como para todos os seus *stakeholders*, auxiliando na transformação de mentalidade e foco dos vários colaboradores e promover, junto do ecossistema em que se insere, relações significativas que se estabeleçam sob pilares sustentáveis e em sintonia com o novo plano de acção para a Economia Circular, adoptado pela União Europeia em março 2020.

## 3. Revisão de Literatura

No presente capítulo são apresentadas as várias definições que serviram como suporte para o desenvolvimento desta dissertação. Serão abordados os temas relativos à definição de Economia Circular e Sustentabilidade, à contextualização da indústria do plástico e, finalmente, serão apresentados alguns dos KPI (Key Performance Indicators) actualmente utilizados para mensurar a transição de uma economia linear para a nova Economia Circular.

### 3.1 Economia Circular

#### 3.1.1 Contexto Histórico

Todos os modelos construídos pelo homem têm o seu espaço na história e, por diversas razões, existem motivações que nos levam a novos paradigmas mundiais. O modelo linear “take-make-waste” tem vindo a ter um lugar preponderante nos últimos dois séculos de história, que se iniciou com revolução industrial da indústria têxtil em Inglaterra em meados de 1770.

Contudo, os primeiros industrialistas tinham todos uma ideia subjacente em comum, que a natureza e os seus recursos eram imensuravelmente vastos, de tal forma que qualquer actividade desenvolvida pelo homem tinha pouco ou nenhum efeito na escala macro do sistema terra. [2] O proeminente filósofo do séc.XIX, Ralph Waldo Emerson, entusiasta e atento observador da natureza, chegou mesmo a descrevê-la como “essências intocadas pelo homem: espaço, o ar, o rio, a folha”. Esta frase reflecte bem o sentido de impunidade que se fez sentir nos últimos dois séculos em relação ao sistema económico linear.

Uma nova forma de estruturar a economia tem vindo a insurgir-se nas últimas décadas, com especial preponderância em entidades reguladoras e empresas, como uma alternativa que se prontifica a considerar a sustentabilidade holisticamente.[3] Temáticas ambientais como a perda de biodiversidade, poluição do ar, solo, água e consumo excessivo de recursos naturais.[4] Temáticas sociais como taxas de desemprego elevadas, condições de trabalho precárias e alargamento das desigualdades.[5] Todos os desafios mencionados, são hoje factores que devem e que são hoje integrados neste novo modelo económico.

As primeiras observações que deram impulso ao movimento da Economia Circular remontam aos finais da década de 70, não sendo possível rastrear o verdadeiro criador do conceito.[6] Desde então, o conceito originalmente criado foi alvo de várias modificações que se podem agrupar em três momentos diferentes de pensamento. [7][8]



A primeira versão da definição de *Circular Economy*, CE 1.0 (1970- 1990s), denominada “*dealing with waste*” foca-se activamente na fase mais a jusante de todo o ciclo de vida, fase essa em que é decidido o destino dado aos resíduos. Em CE 1.0 existe a crescente preocupação de que despejar resíduos em lixeiras é a solução “preguiçosa” e que deve existir o cuidado de procurar soluções diferentes e mais conscientes. O conceito dos 3R (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) começa gradualmente a ganhar tracção. [7]

A segunda versão, CE 2.0 (1990s-2010), é intitulada pelo próprio [7] como “*connection Input and Output in strategies for Eco-Efficiency*”. A ênfase é dada à existência de oportunidade económica em solucionar problemas ambientais, integrando medidas preventivas a jusante com medidas estabelecidas a montante do ciclo de vida do produto. O papel do Design do produto começa a ter relevância nos meios académicos como uma ferramenta importante de prevenção.

A terceira versão, CE 3.0 (2010-Presente), celebrada como “*Maximizing Value Retention in the Age of Resource Depletion*”, conjuga alguns dos factores que foram mencionados nas fases de pensamento anteriores com o aspecto mais cultural do fenómeno. A população em geral está mais familiarizada com muitos dos conceitos e começa a reconhecer que o ritmo de consumo não se coaduna com a forma actual do sistema económico.

O que é unânime e claramente positivo no decorrer desta revisão histórica é a tendência exponencial positiva do número de documentos referentes a CE na literatura [9][10][11]. É também possível verificar que as regiões geográficas mais vanguardistas no avanço do conceito, mensurado pelo número de publicações, têm sido de forma consistente a China[12][9][11], sob o seu “Circular Economy Promotion Law of the People’s Republic of China” lançada em 2008, e a União Europeia[12][9][11], com o seu plano para a Economia Circular lançado em 2015 e mais recentemente renovado em 2020 [13]–[15].

### 3.1.2 Nexus Economia Circular e Sustentabilidade

O conceito Sustentabilidade antecede o aparecimento do conceito de CE, existindo actualmente um valor aproximado de 300 definições diferentes para a Sustentabilidade[16]. Este conceito, como é constatável com o número de definições diferentes, não é unânime nem no seu significado nem na forma como se conceptualiza. Considerado um conceito demasiado vago para ser implementado [17][10], chegou a ser considerado por *Naudé* como “uma idealização teórica em vez de uma realidade exequível”. Contudo, apesar das divergências, algumas definições são mais amplamente utilizadas do que outras. Como exemplos de algumas das definições de *Sustentabilidade*:

- “...contexto em que a actividade humana é conduzida num sentido que preserva as funções dos ecossistemas terrestres”[18]
- “transformação do estilo de vida do ser humano que otimiza a probabilidade das condições de vida permitirem prolongar o sentimento de segurança, saúde e bem-estar, em particular, em garantir o abastecimento de bens e serviços insubstituíveis” [19]
- “a integração sistémica e equilibrada do desempenho ambiental, económico e social Intra e

Intergeneracional.” [9]

- “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas” [20]

Tendo sido a última, o baluarte para o que seriam os objectivos estratégicos das Nações Unidas com os seus SDGs (fig.3).



Figura 3- Sustainable Developments Goals (Documento instalado do site oficial <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/>)

Algo que é transversal no conceito de Sustentabilidade, definido em [20], e aos objetivos adjacentes, traçados na fig.3 é a necessidade de encontrar uma harmonia simbiótica entre três pilares essenciais, Ambiente, Economia e Social. Os três, na sua intersecção, encontram o equilíbrio perfeito e o ponto óptimo para a vida (fig.4), todavia, a forma como se conceptualiza é, uma vez mais, fragmentada em diferentes opiniões. [21]

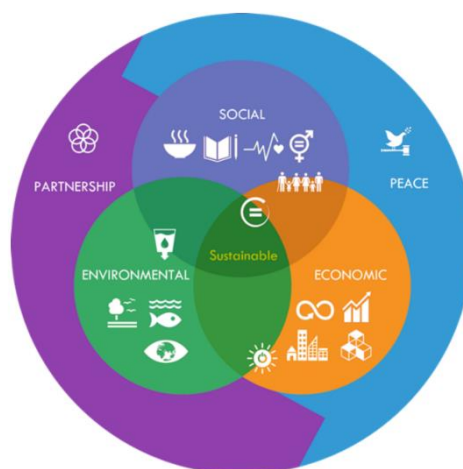


Figura 4- Adaptado de <https://www.unssc.org/news-and-insights/blog/sustainable-development-what-there-know-and-why-should-we-care/> (consultado em 03/04/2021)

Como qualquer movimento que se cria, existe na sua fase inicial, um momento de democratização de ideias que promove a discussão e a coesão desse mesmo movimento. Não sendo exceção, o conceito de Sustentabilidade, de Economia Circular e a própria forma como esses se relacionam são alvo de moderada controvérsia.

Dessa controvérsia, muitos foram já os autores que a constataram [9][22][10][23]. No próprio estudo de *Kirchherr* [10], em que é feita a análise de 114 definições de Economia Circular, constata que dos 148 artigos analisados, apenas 13% das definições considera, conjuntamente, as três dimensões da Sustentabilidade. Também, 38% refere a vertente ambiental, 46% a vertente económica e 20% refere a vertente social como parte integrante da definição. De facto, a recorrência em excluir regularmente o factor social da definição de CE [23][24] pode ter como colateral a aplicação de medidas que vão contra os próprios objectivos da Sustentabilidade [9]. De facto, se CE é a “...realidade exequível” da “idealização teórica” [25][23] que é a Sustentabilidade, que sentido faz definir a primeira com tal dissociação da segunda?

*Geissdoerfer* [9] sintetiza no seu estudo as semelhanças e diferenças entre os dois conceitos abordados neste secção. Enumerando algumas das semelhanças, destacamos “Compromissos Intra e Intergeracionais”, “Integração de factores não económicos para o desenvolvimento”, “Inovação nos modelos de negócio determinante para a transformação da indústria”, “Regulamentos e incentivos são fundamentais na implementação” e “Papel principal para a Iniciativa Privada, devido a recursos e capacidades”. Nas diferenças entre CE e Sustentabilidade destacamos o foco em que se aplica, os principais agentes da mudança, a hierarquia das suas prioridades e a escala de tempo na mudança.

### 3.1.3 Definição de Economia Circular

No contexto do que foi referenciado na secção 3.1.2 Nexus Economia Circular e Sustentabilidade, subentende-se a necessidade de abordar as definições de CE utilizadas actualmente por diferentes intervenientes do ecossistema. Naturalmente, ainda está por determinar um conceito que se adegue e satisfaça unanimemente as várias interpretações visíveis na literatura, indicando alguns que esse feito é mesmo inatingível, e que, ao fazê-lo, pode mesmo excluir indevidamente factores que podiam ser igualmente relevantes [26][27]. Outros foram os autores [28][29][8][9] que já determinaram esta falta de congruência na definição como um factor tóxico que pode provocar o abrandamento na transição para uma Economia Circular, ou, em pior caso, desviá-la para objectivos não desejados e que pouco beneficiam os SDGs.

No entanto, é já visível uma linha de pensamento que é transversal a todas as definições e que irá ser apresentada nos seguintes parágrafos. Não iremos reflectir sobre qual é a abordagem mais ou menos correcta para definir a CE, visto não ser esse o intuito desta secção nem tão pouco seria uma avaliação imparcial sobre as mesmas. Iremos sim, representá-las como estão, na literatura, e argumentar sobre qual a que entendemos mais adequada para o caso de estudo da Empresa A.

Tendo em conta as várias análises sobre CE, *Moraga et al.(2019)* [26] conseguiu agrupar em dois grupos essenciais, representando a CE em *sensu stricto* ou *sensu latu*.

***Sensu stricto*** aborda a vertente técnica do ciclo de vida dos produtos. Retirado do racional de *Bocken* [30], distingue-se do sistema linear “*Take – Make – Waste*” de duas formas fundamentais: Fechar e Abrandar o ciclo de vida dos produtos. Fechar no sentido em que o EoL (Endo of Life) e a produção do produto se intersectam, fazendo com que esse potencial “resíduo” se torne matéria-prima para um novo produto, minimizando a entrada e saída de recursos do ciclo. Abrandar no sentido em que mesmo com o ciclo fechado, é necessário encontrar estratégias que travem o consumo crescente de materiais a entrar no ciclo. Estratégias como prolongar o ciclo de vida dos produtos por reparação, reutilização ou imposição de leis são alguns exemplos [31]. A figura 5 apresenta outras iniciativas que podem ser aplicadas.

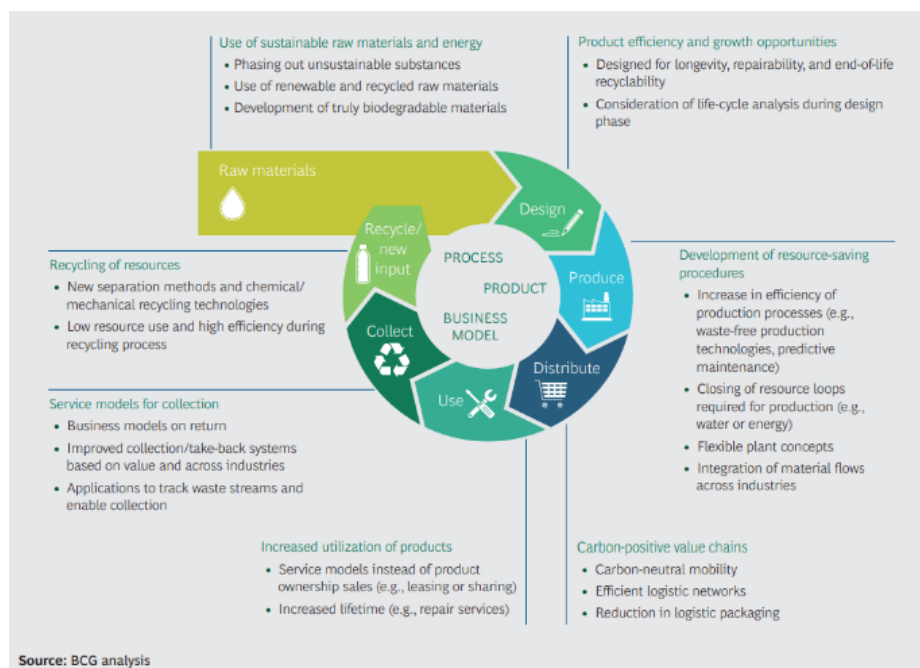


Figura 5- Potenciais iniciativas circulares no ciclo de valor. Adaptado de [81]

Uma definição CE que caracteriza bem o ***sensu stricto*** acreditamos ser a dada pela EMF (Ellen MacArthur Foundation) [6]. A mesma, acaba por ser a definição que actualmente reúne mais consenso entre os membros activos do ecossistema e resume a Economia Circular como (Original em Inglês):

- “[CE] an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the ‘end-of-life’ concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models.”

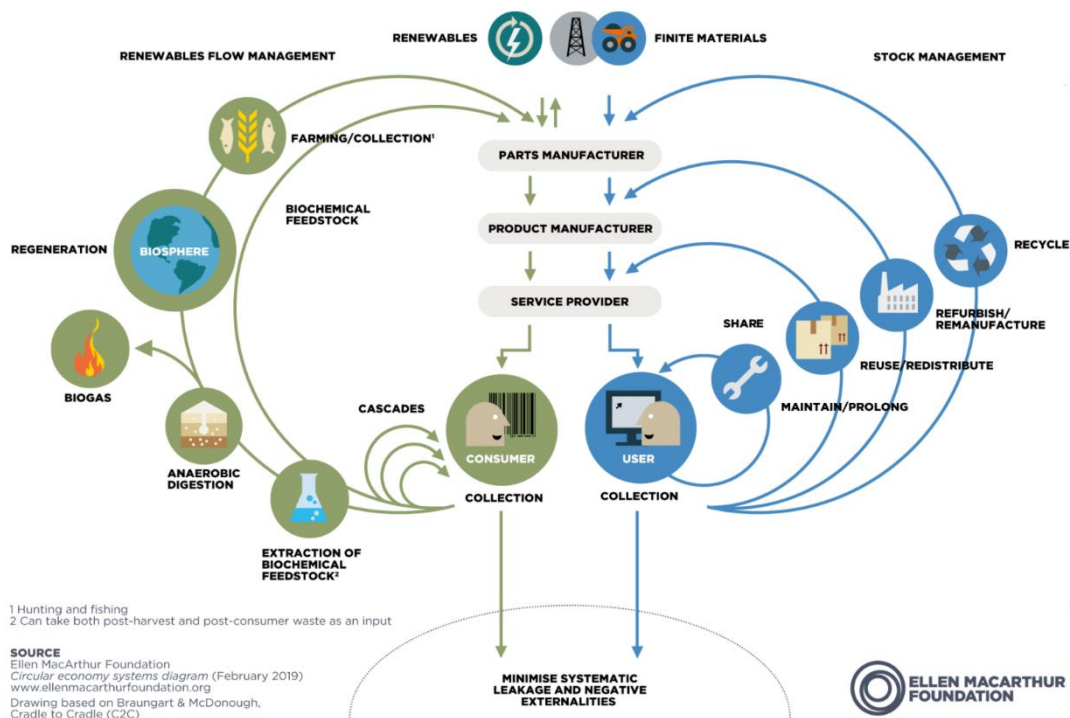


Figura 6- Adaptado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/infographic> (consultado em 03/04/2021)

A fig. 6 representa o ciclo de vida dos produtos em que as estratégias de fechar e abrandar são aplicadas simultaneamente. Neste caso, ambos os ciclos biológico e técnico, esquerda e direita respetivamente, estão representados.

**Sensu latu** propõe um âmbito mais abrangente. Murray et al. 2017 [23] define sendo “an economic model where in planning, resourcing, procurement, production and reprocessing are designed and managed, as both process and output, to maximise ecosystem functioning and human well-being.” Este formato traz o foco para a sustentabilidade, analisando a forma como as estratégias de CE impactam os três pilares da sustentabilidade e todos os SDGs que daí advêm.

Nesta versão mais ampla selecionamos como definição ilustrativa a dada por Kirchherr [10]:

- “A circular economy describes an economic system that is based on business models which replace the ‘end-of-life’ concept with reducing, alternatively reusing, recycling and recovering materials in production/distribution and consumption processes, thus operating at the micro level (products, companies, consumers), meso level(eco-industrial parks) and macro level (city, region, nation and beyond), with the aim to accomplish sustainable development, which implies creating environmental quality, economic prosperity and social equity, to the benefit of current and future generations.”

A referência aos Indicadores de Economia Circular Macro/ Meso/ Micro/ Nano será explicada posteriormente, na secção dos Indicadores de CE, momento em que se irá explicar o que cada um consiste de forma mais completa.



Figura 7- <https://doughnuteconomics.org/about-doughnut-economics> (consultado em 03/04/2021)

De forma ilustrativa, a figura 7 representa perfeitamente aquilo que a definição em *sensu latu* permite alcançar. Kate Raworth no seu livro *Economia Donut* [32] apresenta esta nova alternativa de ver o sistema económico como um sistema que é interdependente com outros factores ambientais e/ou sociais e que está em constante mutação. A ilustração indica que existe um “espaço óptimo”, justo e seguro para a humanidade sustentar a vida. O limite superior desse donut são as capacidades finitas do sistema Terra, como a perda de biodiversidade ou a escassez de água doce e o limite inferior são os direitos básicos à vida, como direito à igualdade de género, educação ou alimentação.

### 3.1.3.1 Hierarquia na retenção de valor

Transversalmente às duas perspectivas discriminadas acima, existe uma metodologia ou, dito de outra forma, um modelo basilar que, de uma forma hierárquica de retenção de valor, que acompanha o modelo *Lansink's Ladder*, determina o tipo de estratégias que podem ser postas em prática quando falamos de materiais que se inserem no ciclo técnico da fig.6. A esta metodologia/modelo baptizou-se o nome de *R-Framework*. No entanto, como tem sido comum na existência de toda esta revisão, também este tema não é consensual tendo sido sugeridos vários modelos para o *R-Framework*.

O primeiro dos *frameworks* e mais amplamente considerado na literatura[25] é o 3R, denominado habitualmente como Reduzir, Reutilizar e Reciclar [33][34][35][36] e utilizado como denominador para “Circular Economy Promotion Law of the People’s Republic of China”. Surgiram rapidamente novos *frameworks* 4R[10], 6R[37][38] e 9R[39][40][41]. Os *frameworks* mais extensos acabam por ser extensões dos anteriores com novos termos a serem acrescentados à cadeia, ainda que, por vezes, estes não utilizam sempre os mesmos termos, tendo sido encontrados mais de 38 termos diferentes[41]. A figura 8 representa a estrutura dos 9R’s inserida num sistema real. Naturalmente, quando inserida no sistema, as dinâmicas e interações entre os diferentes intervenientes torna-se



altamente complexa, não obstante, esta torna-se uma aproximação que se tenta aproximar do real sendo ainda, mesmo assim, bastante simplista.

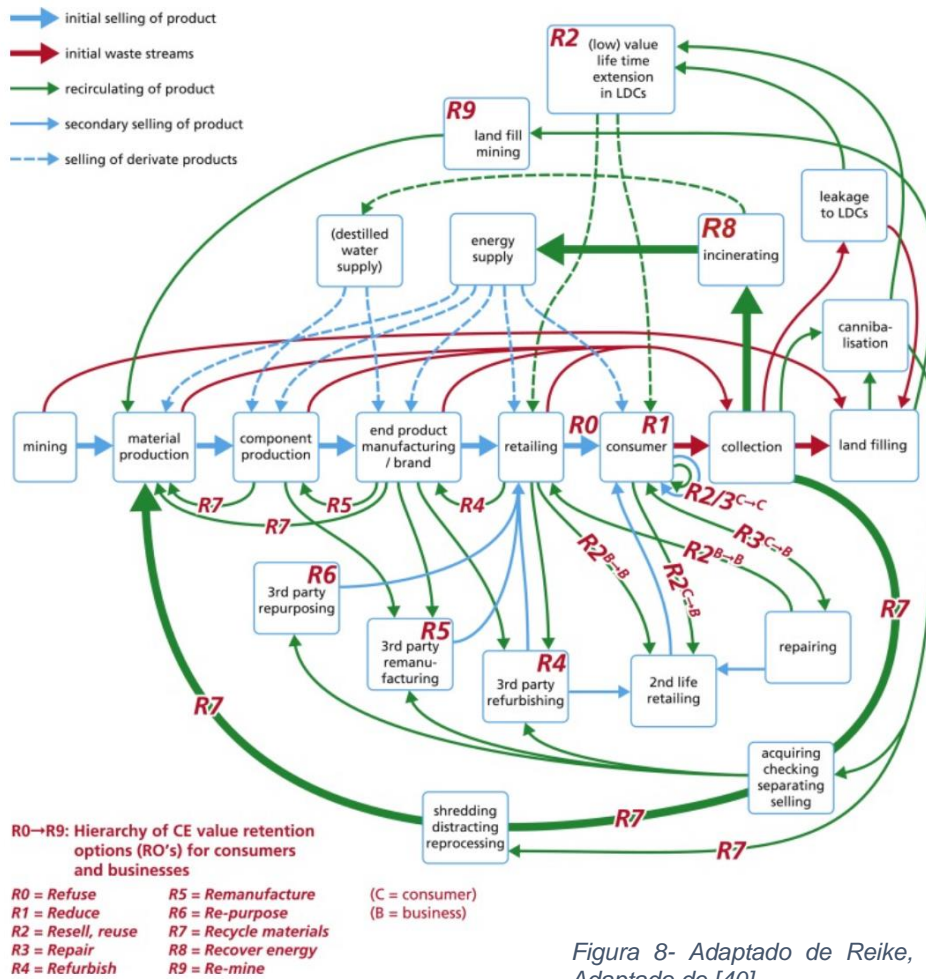


Figura 8- Adaptado de Reike, 2018. Adaptado de [40]

A estrutura dos 9R's, segundo a figura 8, é então composta pelos termos Recusar, Reduzir, Reutilizar, Reparar, Renovar, Remanufactura, Dar novo propósito (Re-Purpose), Reciclar, Recuperar Energia e ReExtrair. No caso de *Potting et al.2018* [40], o termo ReExtrair é substituído por RePensar, revelando bem que cada autor cria a sua própria estrutura e, regularmente, na sua própria hierarquia. Irão ser elaborados os conceitos destacados por *Reike et al.2011*[41] visto que, *Potting et al.2018*[40] não contempla nenhuma alternativa para os resíduos que terminam em aterro a não ser, simplesmente, Reduzir. No entanto, sabendo que esta estratégia é por si só um passo para a resolução dos aterros, não soluciona a realidade de eles já existirem. Assim, *Reike et al.2011*[41] apresenta uma alternativa que promove a captação de valor dos aterros já existentes, ao mesmo tempo que não despreza *Reduzir*, termo que baptiza de *ReExtrair*.

Faz sentido apresentar o que cada um destes termos significa, visto que, qualquer estratégia que se adopte dentro do conceito de CE terá como objectivo fundamental a concretização de um ou mais termos mencionados.

- **Recusar** pode ser usado tanto no sentido do *consumidor* como no do *produtor*. O sentido do *consumidor* foca-se na condição de comprar menos ou usar menos no sentido de provocar menos resíduos [42][43]. No sentido ideológico pode ser aplicado à era *pós-consumista*[44]. O sentido do *produtor* apela à fase de concepção e design do produto, fase onde devem ser rejeitados qualquer tipo de materiais perigosos e processos de produção que evitem a criação de resíduos [45].
- **Reduzir** pode ser redundante ao termo anterior, no sentido em que também incentiva à diminuição da utilização de matérias, não sendo tão revolucionário na sua génese. Aplicação de processos de forma a consumir menos recursos naturais e materiais, menos energia e a redução de emissões e resíduos durante o processo de fabrico e na fase de utilização pelo consumidor [38].
- **Reutilizar** é um dos ciclos mais pequenos dentro da CE visto que se aplica directamente ao consumidor. Visa prolongar o tempo de vida dos produtos que circulam no mercado através de várias estratégias existentes. Podemos vê-la de duas formas objectivas.
  - Extensão de vida do produto/serviço: Promove-se a qualidade do produto de forma a permanecer operacional durante mais tempo, ao mesmo tempo que se redistribui produtos já utilizados para novos utilizadores;
  - Intensificação da vida do produto/serviço: Estimula a criação de novos modelos de negócio que promovam a utilização do produto por mais do que um utilizador (*sharing economies*) intensificando assim o seu uso durante o seu ciclo de vida. Um exemplo será o programa das bicicletas Gira da cidade de Lisboa [46].
- **Reparar** tem como propósito possibilitar a extensão de vida do produto/serviço. Ao nível do produto significa “trazer de novo para o modo operacional” [47] ou “restabelecer o propósito original após pequenos defeitos”. [48] Pode ser efectuado com ou sem transmissão de propriedade com o próprio utilizador a poder fazê-lo através de manuais ou tutoriais disponibilizados pelas empresas ou *peer-to-peer*. [49][31]
- **Renovar** oferece muitas semelhanças com o termo *Remanufactura*, no entanto, quando constam juntamente num único artigo aparecem de forma diferenciada. Nestes casos, *renovar* aparenta ser preferencial a *Remanufactura* [41]. Aplica-se quando grande parte da estrutura permanece intacta e são modificadas/alteradas/reparadas algumas características que tornam o produto adequado às necessidades contemporâneas.[47]



- **Remanufactura** por sua vez, aplica-se quando o equipamento é totalmente desmontado e várias peças que o compõem são verificadas/limpas/alteradas/reparadas num processo habitualmente industrial.[29] Alguma moderação é utilizada no termo qualidade uma vez que, neste termo, as peças reinstaladas podem ser de produtos usados ou descontinuados. Essas peças, ainda assim, foram sujeitas a revisão e garantem o funcionamento do produto alterado. [50]
- **Novo Propósito** propõe a utilização de peças ou partes de produto para que sejam utilizadas para novos produtos com um propósito diferente do seu intuito original [40].
- **Reciclar** é o processo mais frequentemente utilizado na temática de CE e apresenta-se como sendo o último ciclo representado na fig.6. Refere-se ao processamento de fluxos mistos de *Post-Consumer Waste* e *Post-Industrial Waste*, incluindo a separação, trituração, extrusão e outros processos que visem a captação da mesma qualidade (*reciclagem primária*) ou qualidade inferior (*reciclagem secundária*) do material original virgem. É considerado o último ciclo de CE, fundamental para fechar o ciclo que ainda considera o material como fonte útil para novos produtos, no entanto, por ser o último, deverá ser a opção de último recurso após todas as supramencionadas terem sido postas em prática. Em todas as outras opções anteriores o material mantém a sua forma original, conservando a energia incorporada no produto e evitando gastos energéticos em processos como a trituração, lavagem, separação e a energia necessária para dar nova forma ao produto. [41][46][51]
- **Recuperar Energia** refere-se ao processo de incineração de produtos e materiais de forma a captar a sua energia interna para que seja produzida energia que irá alimentar novas actividades económicas. [40]
- **Reextrair** será provavelmente o processo mais ignorado de toda a hierarquia de processos de retenção de valor e envolve a extracção de materiais directamente de aterros já existentes. Um processo perigoso e precário que já é comum em países em desenvolvimento, mais concretamente em comunidades que habitam em proximidade com grandes aterros, como é o case do grande aterro de E-Resíduos no Ghana, denominado *Agbogbloshie* [52]. Nos países industrializados o mesmo processo está associado a um *Ethos* totalmente diferente. Nestes países as medidas são restritas face à gestão de resíduos em aterros e iniciam-se algumas actividades empreendedoras que visam a captação de valor de alguns resíduos presentes nesses terrenos. O termo é já baptizado por *urban mining* ou *landfill mining* [53][54][55].

Em suma, é visível que quanto mais curto for o ciclo de retenção de valor, maior será a retenção de energia interna e maior será a poupança de material, energia e trabalho para a produção de novos materiais[6]. No culminar de um ano inteiro de actividade económica, esta poupança terá efeitos positivos e visíveis ao nível económico, ambiental e social.

### 3.1.3.2 Cascading, Upcycling e Downcycling – O que são?

Na subsecção anterior, 3.1.3.1 *Hierarquia na retenção de valor*, fizeram-se algumas alusões à qualidade superior ou inferior dos materiais posteriores face aos materiais primários. A verdade é que, no momento de decidir que estratégia adoptar, é necessário ter em conta que nível de qualidade vamos obter desse material após esse processo, por comparação com a sua qualidade original.

Essas referências estão já intituladas, no seio da literatura, como **Cascading**, **Upcycling** e **Downcycling**. Segue-se uma breve explicação do que é cada um desses termos:

- **Cascading** é resumido como “um rio que flui através de uma sequência de patamares, e que vai dissipando energia e matéria sempre que os atravessa, até atingir o equilíbrio na base de todos os patamares” [56]. Este processo é actualmente associado à utilização consecutiva de bio-materiais [5][57]. Um exemplo comum deste processo é aplicado à indústria de extracção de madeira.

#### **Extracção < Madeira de Alt.Qualidade < Madeira de Bx.Qualidade < Papel < Energia**

- **Downcycling** aplica-se à reutilização “de algo numa forma que quando comparado com o item original oferece valor reduzido.” [58] Diz respeito à perda de valor ou de propósito em relação ao item original, implicando uma carência de funcionalidade derivado da qualidade. Está vulgarmente associado às propriedades dos materiais, nível de degradação ou nível de pureza, que, em muitos casos, leva à perda de valor económico[59]. Um exemplo ilustrativo é a Indústria transformadora de plástico que, após reciclagem, acaba muitas vezes com um “granulado” de menor qualidade derivado das impurezas não eliminadas durante o processo de triagem e lavagem. Isto resulta, posteriormente, na impossibilidade de utilizar este “granulado” em produtos de igual qualidade tanto por limitações técnicas como até mesmo legislativas.
- **Upcycling** contrariamente ao termo anterior, refere-se em tornar algo com mais valor ou de igual valor em relação ao item original, após utilização, seja ao nível artístico (Bordallo II), científico (latas de alumínio ou tampas PET) ou outro. [59]

É portanto, bastante importante considerar qual das estratégias de retenção de valor adoptar, tendo por base estas três considerações.

### 3.1.3.3 Agentes Influentes para a transição de Economia Circular

A transição de uma economia linear “Take – Make – Waste” para uma Economia Circular é um processo holístico e transversal a geografias, indústrias e demografias[12]. No entanto, cada caso aponta motivações diferentes que abrandam ou aceleram os processos de transição para CE. Neste contexto, sabendo que esta tese é desenvolvida dentro do contexto corporativo, faz sentido aprofundar que motivações existem e porque existem, ao nível corporativo. Numa análise perfeitamente elaborada [12], são indicados quais os factores catalisadores, obstrutores e ambivalentes que existem actualmente para as empresas (Tab.1).

Tabela 1- Adaptado de [11]

Catalisadores	• Expectativa de ganhos económicos e outros
	• O Risco do sistema actual
	• Empenho da Administração e existência de sistemas de monitorização
Ambivalentes	• Legislação e Regulação
	• Design e aspectos Técnicos
	• Importância da colaboração
	• Clientes e Procura
Obstrutores	• Qualificações existentes nas empresas
	• Incerteza nos resultados e expectativas
	• Economia linear enraizada nas empresas
	• Escassez de Recursos

A primeira série de factores a serem discriminados são os **catalisadores**. Estes são aqueles que aceleram e promovem a transição para CE ao nível corporativo.

- **Expectativa de ganhos económicos e outros** - “Pequenas e médias empresas (PMEs) estão cada vez mais conscientes dos benefícios de fechar os ciclos e melhorar a eficiência do uso de materiais, como poupar nos custos de materiais, criar vantagens competitivas e ter acesso a novos mercados”. [60]
- **O risco do sistema actual** – “...muitas empresas começam a entender que o sistema económico linear apresenta maior exposição ao risco, sendo notável pela volatilidade do preço dos recursos e nas possíveis restrições de fornecimento.”. [61]
- **Empenho da Administração e existência de sistemas de monitorização** – “Administração e criatividade na empresa, juntos, são factores determinantes para a mudança e criação de novos modelos de negócio”. [62]

Os factores **ambivalentes** são todos aqueles que, num dado momento ou contexto podem tanto incentivar como obstruir os esforços para a transição.

- **Legislação e Regulação** – “Intervenções governamentais direccionadas a algumas barreiras, ex. descontinuar subsídios que favorecem economia linear adoptando políticas que favoreçam produtos circulares, será um grande incentivo para a CE”[63].
- **Design e aspectos técnicos** - “... tem existido uma falta de consideração em relação ao design circular e estratégias inovadoras que abrandem ciclos de recursos e de materiais”[64].
- **Importância da Colaboração** – “Colaboração mais intensa de práticas entre empresas e maior suporte de cadeias de abastecimento e consumidores” [65]
- **Clientes e procura** – “Uma grande barreira cultural-cognitiva para reutilização tem que ver com a preferência do consumidor para novos produtos.” [66]
- **Qualificações existentes na empresa** – “...enquanto que existe um bom nível de consciencialização, existe uma clara necessidade de articular os benefícios da Economia Circular de uma forma transparente e mensurável.” [67]

Finalmente, os factores **obstructores** são aqueles que abrandam a transição para CE, podendo desincentivar ou até mesmo bloquear mecanismos de mudança.

- **Incerteza nos resultados e expectativas** – “...empresas não estão totalmente convencidas que a Economia Circular pode trazer benefícios tangíveis em redução de custos ou lucro financeiro e na sustentabilidade da empresa a longo prazo...” [68]
- **Economia Linear enraizada nas empresas** – “Implementar Economia Circular ao nível corporativo é uma tarefa desafiante dado que a mentalidade linear prevalece na maioria das indústrias.” [61]
- **Escassez de recursos** – “... a mudança de um modelo de negócio linear para um modelo de negócio circular pode, algumas vezes, requerer investimentos substanciais...”[62]

#### 3.1.3.4 Economia Circular para a Empresa A

Face aos conceitos até aqui apresentados é possível determinar a definição que melhor se adequa à Empresa A.

Ficou estabelecido que a definição terá como base o **senso latu**, revelando o compromisso da Empresa A com os três pilares da sustentabilidade. Não obstante, sendo a Empresa A uma empresa de manufactura, é de uma importância extrema, abordar a vertente técnica do ciclo de vida do produto, sendo um objectivo claro Abrandar e Fechar os seus ciclos.

Assim, nenhum dos **sensos** deverá ser negligenciado em qualquer acção para a transição de CE, sendo a sua definição, no ponto de vista da Empresa A, como:

*A circular economy aims for the creation of economic value (the economic value of materials or products increases), the creation of social value (minimization of social value destruction throughout the entire system, such as the prevention of unhealthy working conditions in the extraction of raw materials and reuse) as well as value creation in terms of the environment (resilience of natural resources). Adaptado de [39].*

## 3.2 Indústria do Plástico de embalagens para Bens de Consumo

### 3.2.1 Plástico - Os factos

Pela primeira vez na história da humanidade, mais de 100 mil milhões de toneladas de materiais são inseridos na economia todos os anos. Um marco histórico pelas razões menos felizes, que tem como referência os 26,7 mil milhões de toneladas em 1970, e segue uma tendência crescente de 180 mil milhões de toneladas em 2050, segundo previsões recentes [69][70]. As razões para tal ordem de grandeza são essencialmente três. Primeiro, constante extracção de material virgem e pouco reaproveitamento de material já existente na economia. Segundo, o próprio crescimento da população, actualmente em 7,8 mil milhões (2020), com perspectivas de atingir os 10,8 mil milhões em 2100 [71], exerce uma enorme pressão para a construção de infraestruturas e equipamento pesado para acompanhar a necessidade crescente de habitações. Terceiro, a inexistência de soluções EoL para os produtos e uma má concepção para a circularidade no design, perpetua a necessidade de materiais virgens e alimenta o recomeço de todo um novo sistema, insustentável por design.

Em 2019, cerca de 368 milhões de toneladas de plástico foram produzidas mundialmente, face às 359 milhões de toneladas produzidas em 2018, com os grandes produtores, Asia, Europa e NAFTA (North America Free Trade Agreement) a serem responsáveis por 51% (31%China), 16% e 19%, respectivamente [72]. Em 2020, um ano atípico marcado pela pandemia Covid-19, fez acelerar a utilização dos *Single-Use Plastics* (SUP) em cerca de 300% [73], obviamente trazendo também os benefícios de higiene pública e distanciamento pessoal, pressionando e ameaçando os enormes esforços no sentido de reduzir a utilização de plásticos e SUP.

De toda a quantidade de plástico produzido anualmente, estima-se que cerca de 40% dessa produção seja para a indústria de *packaging* [74]. Paralelamente, para o caso do continente europeu, a indústria do *packaging* representou 39,6% de toda a necessidade de plástico, seguido do sector de construção (20,4%). Dos vários tipos de plástico utilizados diariamente na Europa, destacam-se PP, PE-LD/PE-LLD e PE-HD/PE-MD, com 19,4%, 17,4% e 12,4%, respectivamente. [72]

Economicamente, a indústria do *packaging* de plásticos também reconhece sérias falhas em reter valor da sua produção. De um relatório disponibilizado em 2016 [75], estima-se que, 95% do seu valor ou cerca de 80-120 mil milhões de dólares eram desperdiçados, anualmente, após uma única e breve utilização. O reencaminhamento para reciclagem é precário, representando apenas 14% do total que é recolhido. Adicionalmente, de todas as embalagens de plástico que são encaminhadas para reciclagem, existe a própria ineficiência da triagem, lavagem e da nova produção que produz um plástico de menor qualidade (*downcycling*) levando a que, no final, apenas 5% do valor seja efectivamente retido. Torna-se evidente que, com tantas ineficiências, as externalidades que daí decorrem fossem, de alguma forma, imputadas aos responsáveis. No entanto, a realidade é diferente e é estimado que as externalidades provenientes da produção desta indústria sejam, segundo a UNEP, cerca de 40 mil milhões de dólares, ou seja, superiores ao próprio lucro gerado pela indústria [75]. A fig.9, representa o fluxo global da indústria do *packaging* de plástico em 2013. Salvaguarda-se que, o termo usado na figura como *cascading*, denomina-se neste documento como *downcycling*.

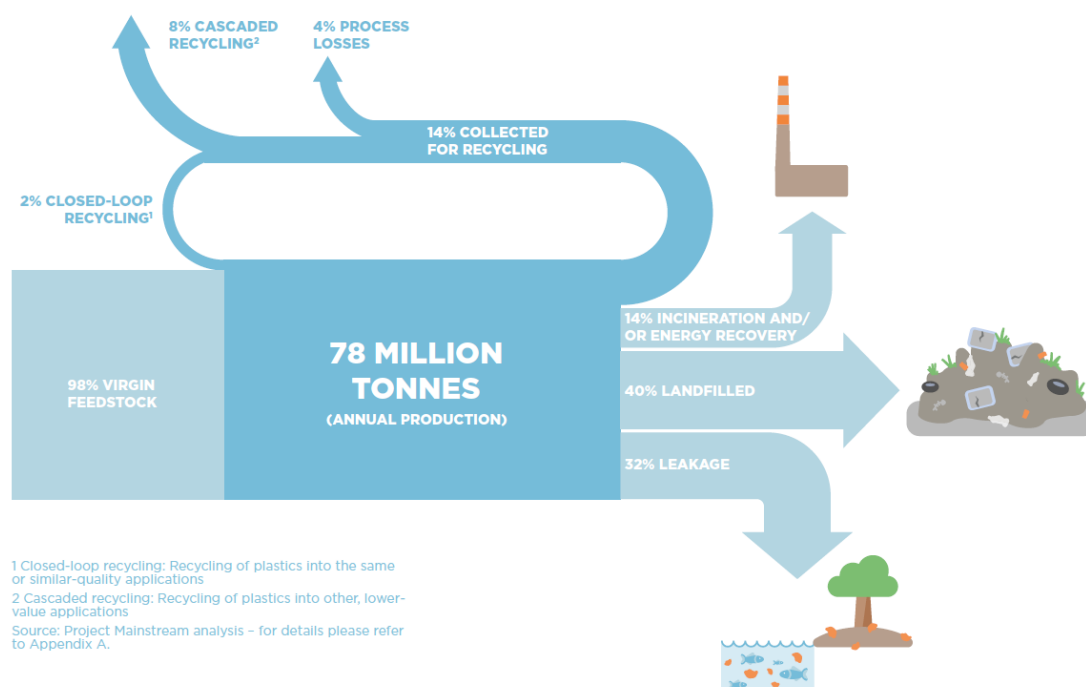


Figura 9- Fluxo anual da indústria de embalagens de plástico 2013, adaptado de [5]

Torna-se evidente que a indústria dos plásticos, mais precisamente, o *packaging* de plástico é um desafio estratégico a ser resolvido. Torna-se evidente referir que a resolução é mais complexa que simplesmente erradicar a sua produção, como pontos de vista mais extremistas advocam. Fazê-lo, seria eliminar um material com excelentes propriedades que trouxe inúmeros avanços na evolução humana dos passados anos. As desvantagens já todos as conhecemos, pelo que, continuar a alimentar a temática de uma só perspectiva, parece pouco realista e muito tendencioso. Por essa razão, é importante perceber a razão de tantos resíduos plásticos produzidos mundialmente terminarem em destinos desapropriados e tóxicos para o ecossistema em que se depositam? A razão terá que ver com a própria ineficiência do ser humano em encontrar soluções EoL para os materiais que produz,

transversal a qualquer sector. (facto não encontrado na pesquisa foi o investimento total anual em expansão de capacidade de produção vs investimento total em soluções de recolha EoL de materiais). Por outro lado, para o caso específico dos plásticos, a razão de existir tanto material produzido são as grandes vantagens que oferece. Destacam-se a **Durabilidade, Segurança, Higiene, Baixo peso, Versatilidade, Moldabilidade, poupança de energia e reduz desperdício alimentar** [76].

O problema de resíduos plásticos no ambiente, não é um problema do material em si, mas sim a demonstração mais explícita e sensacionalista das ineficiências humanas no momento de fazer o correcto reaproveitamento e eliminação dos materiais (vários exemplos desta ineficiência podem ser encontrados em diferentes indústrias). Deste modo, este documento defende a tese de que a solução não está na culpabilização de um só material para o que é um problema sistémico industrial (seria uma oportunidade desperdiçada para a formulação de novas dinâmicas estruturais) mas sim olhar para a conjuntura de uma perspectiva sistémica em que, em variadas indústrias, se revêm as práticas e soluções face aos novos objectivos traçados para o próximo século. A Economia Circular terá um papel fundamental nessa abordagem.

### 3.2.1.1 Tipos de Plástico

O vasto mundo dos plásticos pode ser compartimentalizado nos mais variados formatos e nas mais variadas soluções. Neste documento, a classificação dos plásticos é feita recorrendo ao material base de que é composto e a forma como se degrada após utilização.

Actualmente, podemos agrupar os plásticos sendo biodegradáveis ou não – biodegradáveis e sendo de origem fóssil ou de origem bio [77][78]. (fig.10)

- **Origem Fóssil** – Plásticos com matéria-prima fóssil, como petróleo ou gás natural.
- **Origem BIO** – definido pelo standard Europeu EN 16575 como “derivado da biomassa”. Assim um produto bio é todo e qualquer produto que tenha na sua composição, total ou parcial, componentes derivados da biomassa. Biomassa refere qualquer material de origem biológica, excluindo materiais de formação geológica ou fossilizada (EN 16757, 2014). Sendo um pouco

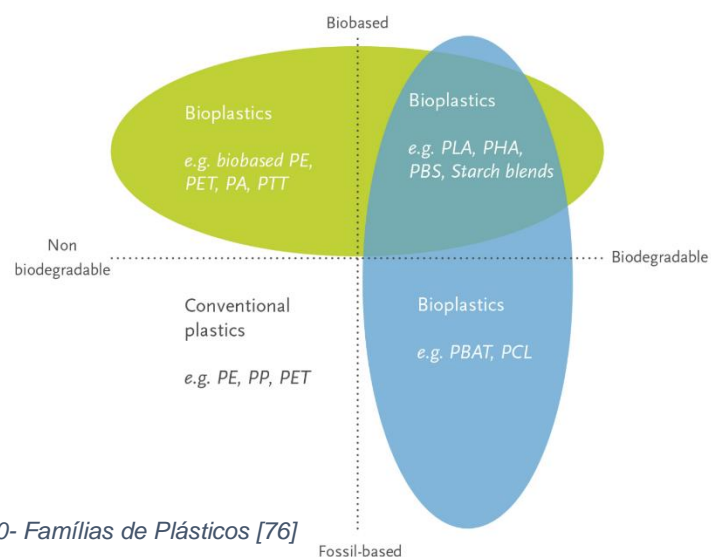


Figura 10- Famílias de Plásticos [76]

mais rigoroso, os materiais que incluem alguma componente fóssil, são regularmente denominados parcialmente-Bio, em que a sua fracção Bio é variável. [78]

- **Fim de Vida Biodegradável** – Materiais Biodegradáveis são todos aqueles que podem ser decompostos por microrganismos, tornando-se em água, dióxido de carbono, metano ou biomassa. A biodegradabilidade depende fortemente das condições do sistema como a temperatura, presença de microrganismos e oxigénio e humidade. Assim, nem toda a biodegradação tem o mesmo ritmo, dependendo se está em solo ou oceano, clima seco ou húmido ou sistemas humanos como compostagem industrial ou caseira. [78]
- **Compostáveis** – Indica ser biodegradável em condições de compostagem. Pode ser compostagem industrial, com temperaturas mais elevadas (55° -60°C) e um elevado controlo das condições de humidade e oxigénio Compostagem caseira aplica o mesmo princípio que a industrial, mas com bastante menor rigor e controlo nas condições presentes do composto, levando a maior tempo de degradação, quando comparadas as duas alternativas. Adicionalmente, um plástico que tenha certificação de compostável, segundo a norma europeia EN 13432, estará apenas certificado para uma compostagem industrial (segundo alguns critérios), não estando certificado para compostagem caseira, sendo que esse fim será desapropriado. [78]

Finalmente, o conceito de renovável refere-se a um material que consegue ser naturalmente recuperado numa escala de tempo humana. Assim, um material biodegradável não é necessariamente renovável, pelo que, no momento de decisão há que ter em conta os dois factores em simultâneo. Como exemplo, a madeira, recurso que conhecemos como renovável e biodegradável, deixa de ser renovável, assim que o consumo humano ultrapassa a velocidade a que o recurso é repostado na biosfera. O mesmo acontecerá para plásticos de origem bio.

### 3.2.2 Plástico e Economia Circular – Acções e Barreiras

O esquema da fig.11 deverá ser o aspecto de uma economia circular aplicada à indústria dos plásticos onde se destacam três grandes ambições [79]. Em comparação, a página 25 indica o seu formato actual. Qual faz mais sentido?

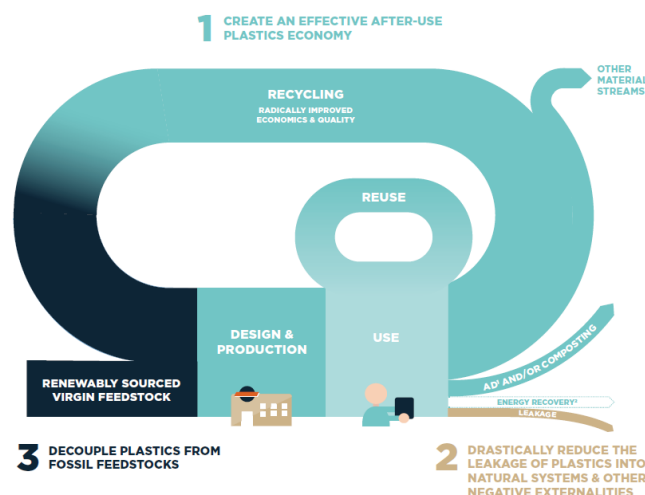


Figura 11- Economia Circular na Indústria dos plásticos [78]



Para que a transição de economia linear para economia circular ocorra nos plásticos, existem vários factores que têm que coincidir para iniciar e para impulsionar ainda mais o compromisso que foi sendo construído, graças à motivação e resiliência de algumas organizações e indivíduos ao longo de vários anos.

## Acções

Das várias estratégias existentes para “arredondar” a indústria dos plásticos, dos quais podemos sugerir a estrutura dos 9Rs, podemos ir mais fundo e apresentar que acções levam a alguns Rs que foram representados. As estratégias são: [79]

1. Redesign de produto e Inovação
2. Reutilização
3. Reciclar com maior qualidade e valor

1. Sem redesign e inovação de produto, cerca de 30% (por peso) das embalagens de plástico nunca poderão ser reutilizadas ou recicladas.

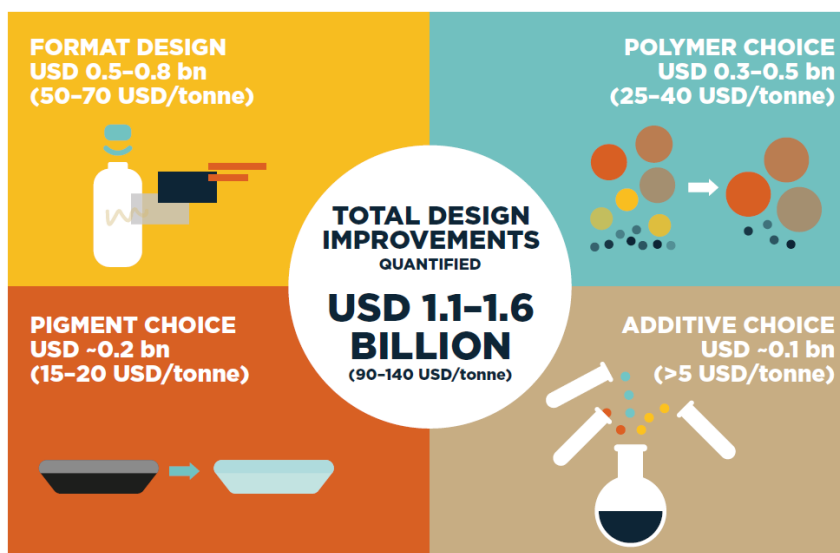


Figura 12- Valor económico potencial por mudança de design, adaptado de [78]

A fig.12 ilustra onde são necessários mais esforços no design e inovação de soluções. Naturalmente são os produtos que, actualmente, pela sua composição ou utilidade, não é possível transmitir para as fases posteriores de reutilização ou reciclagem. Eliminar o que é tido como dispensável começa por ser uma óptima solução para o problema, através de pressões sociais e governamentais. [73]

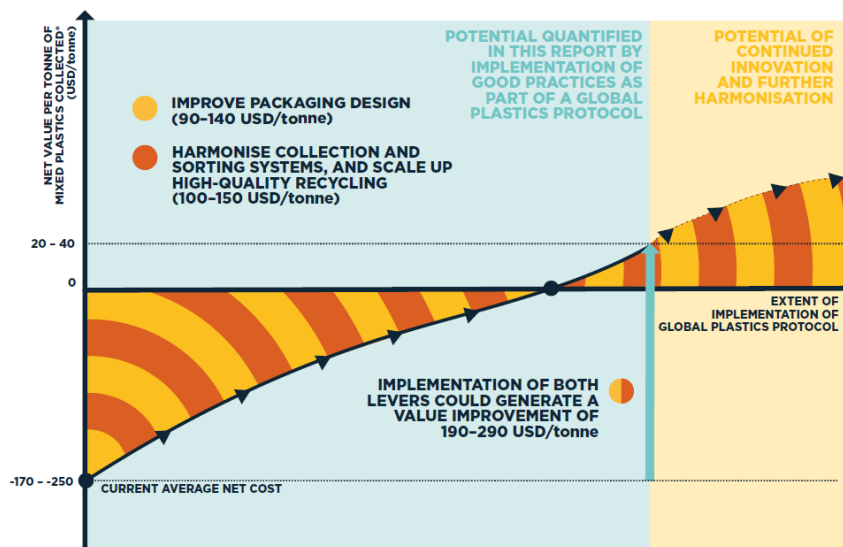
2. No mínimo, 20% das embalagens de plástico oferecem uma oportunidade económica para reutilização.



Figura 13- Oportunidades para reutilização de embalagens, adaptado de [78]

A fig.13 ilustra o potencial económico de reutilização por sector. Contudo, segundo o *Global Commitment 2020* [80], apenas 1,9% do *packaging* de plásticos das grandes empresas de *Fast Moving Consumer Goods*, FMCG, é reutilizável. Para estimular a transição para a reutilização é necessário considerar iniciativas relacionadas com as preocupações de higiene e segurança das embalagens reutilizáveis (em que mais de 60%, em média, dos consumidores, de várias geografias, considera estar mais preocupado após o Covid-19 [81]), bem como, estimular o hábito de reutilização de embalagens no comportamento do consumidor. [73]

3. Com um compromisso sincronizado de design e sistemas de fim-de-vida, a reciclagem seria economicamente atrativa para cerca de 50% das embalagens.



\* Value is calculated as average net cost/benefit of collection, sorting and recycling relative to net cost of collect/dispose alternative; and as an average across geographies, materials and formats – some market segments have much better economics, some have worse.

Figura 14- Impacto potencial de medidas na indústria de embalagens de plásticos, adaptado de [78]

Sabendo que a Reciclagem é a operação mais a jusante que ainda utiliza o material como fonte de valor para novos materiais, o seu sucesso dependerá obrigatoriamente das boas ou más práticas praticadas a montante, no ciclo de vida do produto considerado em [82]. A fig.14 ilustra o quanto uma tonelada de material recolhido pode valorizar, cerca de 150€- 240€, caso sejam aplicadas as melhores práticas de design, colecção e triagem para os materiais. Essas acções tornam a economia da reciclagem mais competitiva com outras formas de produção ultrapassadas, mas já instaladas. [73][79]

### *Barreiras*

Como já foi introduzido na *secção 3.1.3.3*, existem vários factores que podem influenciar o sucesso ou insucesso de uma transição para CE, transversal a qualquer indústria.

Da mesma forma, a Indústria dos plásticos apresenta as suas próprias barreiras que, sem inovação e empenho, podem ser negativamente determinantes no processo de transição. Adaptadas de [73].

- Barreiras Transversais
  - ◇ Externalidades não são contabilizadas;
  - ◇ Sustentabilidade não é o factor mais importante na decisão de compra;
  - ◇ Falta de incentivos para o design, reuso ou reciclagem;
  
- Barreiras para eliminar plásticos desnecessários ou problemáticos
  - ◇ Falta de alternativas que competem no preço e na funcionalidade, simultaneamente;
  
- Barreiras para aumentar matérias-primas recicladas
  - ◇ Fácil acesso a materiais baratos, derivados do petróleo;
  
- Barreiras para aumentar a reutilização
  - ◇ Falta de provas de conceito elevando a percepção de risco;
  - ◇ Requer mudança de comportamento do consumidor;
  - ◇ Preocupações com higiene e segurança;
  
- Barreiras para aumentar índices de reciclagem
  - ◇ PCRs misturados e contaminados na recolha;
  - ◇ Separação imprópria ao nível do consumidor;
  - ◇ Falta de financiamento para implementação de sistemas de recolha;
  - ◇ Custos elevados para a separação de plásticos
  - ◇ Falta de escalabilidade para tecnologia de reciclagem de alta qualidade;

Esta não é uma selecção exaustiva das barreiras, apenas a selecção das que são consideradas mais críticas e que merecem rápida atenção.

## 3.3 Indicadores de Economia Circular

Com a contextualização do conceito de CE, realizado na secção 3.1, torna-se necessário algum sistema de medição que determine para que direcção tendem as decisões estratégicas e operacionais das empresas. Neste capítulo, será introduzido o conceito de indicador e irão ser apresentados alguns dos que já estão actualmente referenciados pela literatura. Posteriormente, serão identificados os indicadores que irão ser utilizados pela Empresa A, de forma a observar atentamente as estratégias direccionadas para a transição de CE.

### 3.3.1 O que são indicadores

No processo de transição para Economia Circular, têm sido levantadas questões por vários investigadores em relação ao sistema de mensuração e controlo dessa transição. Como medir o progresso de transição para CE? [40]; Como medir a circularidade em contexto empresarial e económico? [9]; Como medir a circularidade ao nível do produto? [83]. Como é evidenciado na fig. 9, são diversos os factores que poderão contribuir para abrandar ou obstruir a transição, no entanto, apesar de não constar na tabela adaptada de [12], um último factor ambivalente relevante é a existência de Indicadores e Objectivos. [84]

*Kate Raworth*, no seu livro [32], afirma que uma redução do uso de recursos relativa ao crescimento do PIB Global não é solução. É necessário que o objectivo seja atingir uma redução absoluta, uma solução que seja absoluta o suficiente ao ponto de voltar a ser compatível com o que o sistema (Planeta Terra) pode suportar. Ilustrando bem esta ideia, o economista Kenneth Boulding resume a “Anyone who believes in indefinite growth of anything physical on a physically finite planet is either a madman or an economist”.

De forma genérica, os indicadores têm a capacidade de sintetizar, condensar e destacar a complexidade do sistema dinâmico para uma quantidade de informação relevante e operável [85], ou seja, a aptidão de retransmitir informação de uma forma simples e útil [86]. Por outro lado, têm o potencial de serem facilmente transmissíveis entre *stakeholders*, consciencializam a população e permitem controlar o progresso em torno do objectivo a atingir [87]. Assim, este documento define indicador como um “factor ou variável, quantitativo ou qualitativo, que possibilita um meio simples e fidedigno de medir progresso, controlar resultados de uma intervenção, ou ajudar a avaliar a prestação de um agente executante”<sup>2</sup> [88]. Adicionalmente, um Índice de indicadores, caso que se irá aplicar à Empresa A, “implica um objectivo mais alargado do que apenas um indicador e possibilita a compreensão de uma entidade em estudo” [86]. Na vasta literatura, em PT ou EN poderão encontrar-se sinónimos para indicadores ou índice, nomeadamente “métricas” ou “medidas” e “matriz” ou

---

<sup>2</sup> Para este documento os indicadores podem ser representativos de uma ou mais variáveis pelo que acrescentaríamos o plural à definição dada pela OCDE.

“framework” ou “dashboard”, respectivamente. Por variabilidade na escrita ou por mera selecção aleatória de palavras, alguns destes sinónimos poderão ser encontrados nesta dissertação.

Especificamente em relação à Economia Circular, os indicadores podem ser fortes impulsionadores para a transição e um veículo de transmissão de ideias simples entre *stakeholders* sobre uma temática que é por natureza complexa.

### 3.3.2 Sistematização dos Indicadores de Economia Circular

De forma a sistematizar os indicadores que têm vindo a ser propostos no seio da literatura, e de forma a organizar os que irão ser seleccionados pela Empresa A, foi necessário encontrar formas de organizá-los de acordo com a área em que eram aplicados e a que escala. Por discussão e troca de ideias entre os envolvidos, foram seguidas duas metodologias diferentes, uma que se refere à área de aplicação e a restante, relativa à escala.

A primeira metodologia, relativa à área em que se aplicam os indicadores, vai ao encontro de diversas áreas que têm vindo a ser referidas neste documento. Tendo definido CE como consta na página 22, ficou claro que nenhum dos **sensus** poderia ser desconsiderado no momento de organizar o índice de indicadores. Consequentemente, queríamos considerar CE no contexto holístico da sustentabilidade, mas também, facilitar o trabalho de quem monitoriza os resultados e controlar a circularidade no contexto mais técnico e diário das operações, ou seja, Fechar e Abrandar o ciclo de materiais, energia e resíduos. Para tal, foi adoptado o modelo que está presente na fig.15, modelo este que condensa o **sensu stricto** e o **sensu latu** num único modelo. As razões para esta decisão podem ser:

Em primeiro lugar, como foi referido anteriormente, se é para ser realizada uma transição sistémica no posicionamento da empresa, em que a preocupação ambiental é um ponto dominante dessa estratégia, então, é fundamental que os outros dois pilares da sustentabilidade também o sejam[16], [32], por coerência com a afirmação utilizada no mundo corporativo de “crescimento sustentável”. Por outro lado, também é crucial verificar, no contexto da transição para CE, que impactos essa mudança tem nos três pilares base. Algumas situações, em que certas medidas impostas possam favorecer um dos pilares da sustentabilidade por prejuízo dos demais, devem ser evitadas. Verificar esse balanço e verificar de que forma é que prejudica ou beneficia certos parâmetros só é possível com a consideração do **sensu latu**, que na fig.15 é representado pelos três anéis da sustentabilidade.

Em segundo lugar, para efeitos práticos e alinhamento literal com a expressão Economia Circular, era também essencial poder controlar que medidas contribuem para a circularidade da Economia, nas várias fases de vida do produto. Está mais focado na vertente técnica da transição e, por essa razão, ficou decidido que tinha que ser medida separadamente. É assim ilustrado pelo círculo amarelo representado na fig.15. Para a circularidade, foi adoptado o ciclo sugerido pelo indicador *CIRCelligence*, desenvolvido pela consultora BCG[82], em que os indicadores, preferencialmente, devem ter em conta

as fases de *Entrada, Design de Produto, Produção, Modelo de negócio e utilização e Fim de Vida do Produto*.

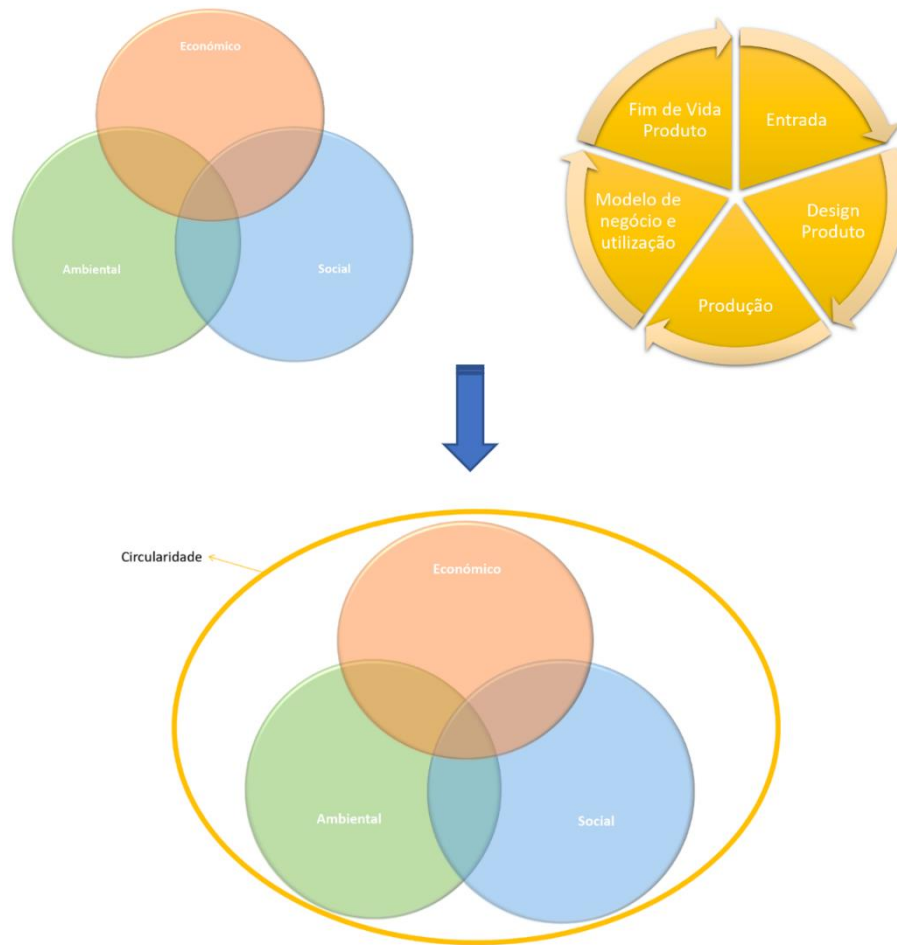
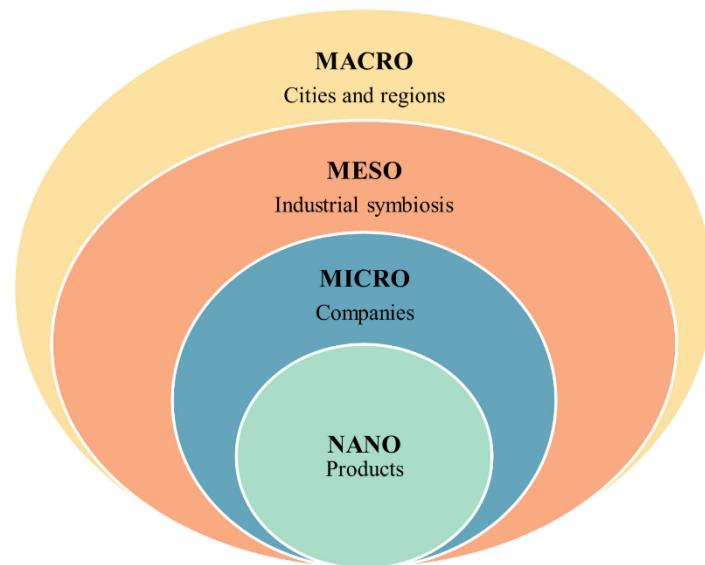


Figura 15- Organização dos indicadores em relação ao seu enquadramento.

A segunda metodologia aplica-se à escala a que são aplicados os indicadores. A Economia Circular é um conceito vasto e multidimensional que requer a integração de diferentes *stakeholders*, desde o sistema como um todo até à singularidade de cada um dos membros que o compõem. Para retratar a realidade da disparidade na magnitude surgiram diferentes níveis de indicadores de CE, na literatura (fig.16).

- **Macro**, são todos os indicadores que se referem a regiões, cidades, países e até, mundialmente [25][10][26][89]. Por exemplo, um indicador desenvolvido pela Circle Economy e PACE (Platform for Accelerating the Circular Economy), apresentado em Davos 2020, concluiu que em 2018 a economia mundial era apenas 9,1% circular, tendo regredido em 2020 para apenas 8,6% [90].
- **Meso**, são todos os indicadores que se referem a ecossistemas de empresas, eco-parques industriais, e a sua interligação para atingir a CE [9][25][78][92]. Como exemplo é o reconhecido eco-parque industrial na Dinamarca, *Kalundborg Symbiosis*.
- **Micro**, são todos os indicadores que se aplicam ao nível da organização [26][63]. Como exemplo, o nível de consumo de água ou consumo de matérias-primas.

- **Nano**, são todos os indicadores que se aplicam ao nível produto [93][89]. Como exemplo, a quantidade de ingredientes utilizada ou percentagem de reciclado na composição.



*Figura 16- Diagrama de níveis de economia circular. Retirado de [85]*

Naturalmente, deverá reconhecer-se que alguns dos indicadores que se aplicam a um dos níveis, pode, também, ser aplicado num outro superior ou inferior, como por exemplo, a percentagem de material reciclado que pode ser utilizada para um produto ou para toda a fábrica. A conclusão que se tira é que as fronteiras entre os níveis são flexíveis e que “os níveis de Economia Circular devem ser interdependentes e interactivos entre si, sendo que os níveis inferiores servem de base e influenciam o desenvolvimento dos superiores”. [94]

## 4. Metodologia

No contexto da **Empresa A**, foi decidido por questões estratégicas, que dos quatro níveis de indicadores existentes seriam apenas considerados os dois níveis inferiores, *Nano* e *Micro*. Naturalmente, por serem indicadores a nível interno, são aqueles que requerem menos tempo para serem aplicados e aqueles cujo a informação está facilmente disponível. Por outro lado, esses indicadores permitem abordar parceiros para formar simbioses rumo a objectivos comuns.

O método de selecção dos indicadores iniciou-se com uma pesquisa do estado de arte com as palavras-chave “*Circular Economy Indicators*”, “*Circular Economy metrics*”, “*Circular Economy framework*”, “*Circular Economy Index*”, “*Circular Economy measures*”.

Dessa pesquisa resultaram cerca de 100 indicadores que se repetiam em diversos documentos fidedignos do estado de arte, mostrando a sua coerência e aplicabilidade. Por motivos de redundância e falta de espaço, mas principalmente por valorização ao trabalho já realizado e disponível na literatura, foi tomada a liberdade de não os dispor na totalidade neste documento, mas sim indicar os documentos onde todos eles estavam compilados. [95][96][26][97][89][98][82][99]

Seguidamente, desse total, foram eliminados todos os que se referiam aos níveis macro e meso e, logo após, foram eliminados todos aqueles que por evidente falta de aplicabilidade na empresa foram automaticamente descartados.

Finalmente, do lote mais reduzido que ficou para futura análise interna, foram seleccionados aqueles que mais iam de encontro às estratégias da Empresa A.

O resultado final foi uma métrica para a empresa com cerca de nove indicadores, em que sete são relativos ao **sensu stricto** da definição de CE e os restantes dois são relativos ao **sensu latu**, fig.17.

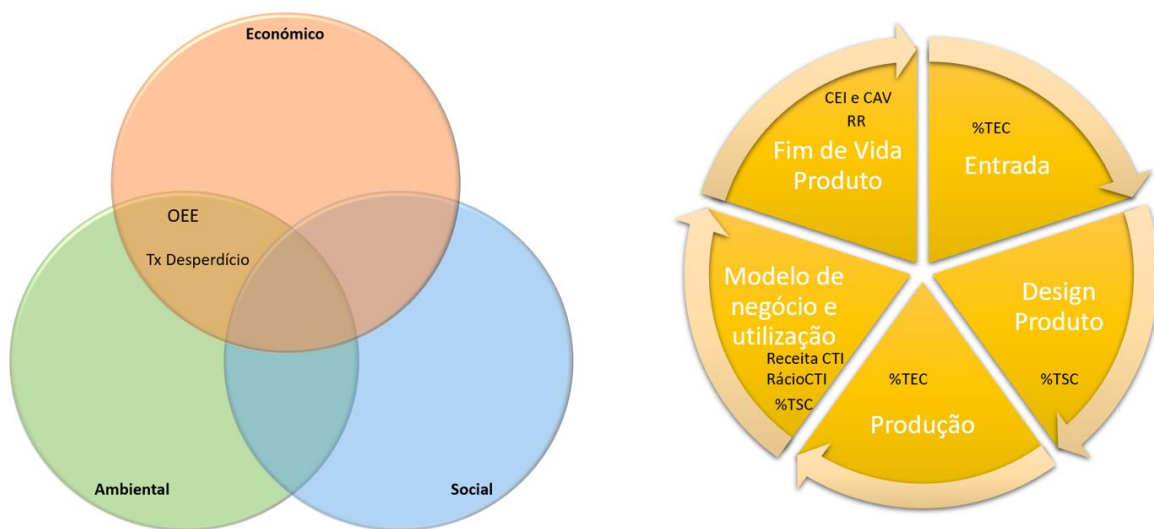


Figura 17- Indicadores propostos para a métrica



## 4.1 Sensu stricto

A revisão sistemática de literatura para a pesquisa de indicadores permitiu encontrar sete indicadores adequados à capacidade de execução da Empresa A e que se concentrassem, exclusivamente, à circularidade de materiais, ciclo de vida após ciclo de vida do produto. Resultou na criação do *framework* disposto na fig.18.

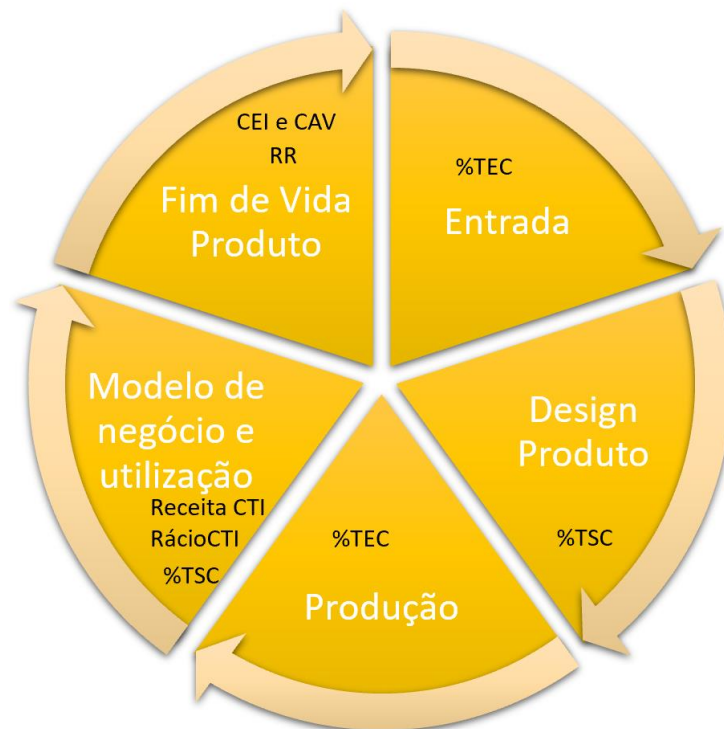


Figura 18- Framework de indicadores do Sensu stricto

O ciclo de vida ideal de qualquer produto teria a semelhança do framework disposto na fig.18, onde o fim de vida de um produto tem uma directa conexão com o início de vida e a introdução de materiais numa nova peça, com perdas marginais de matéria, energia e recursos.

Como é constatável da figura, os sete indicadores do *sensu stricto* ocupam todos os cinco estágios do ciclo de vida do produto (*Input, Product Design, Production, Business model and usage, End of life*) e conseguem, por consequência, fornecer dados holísticos.

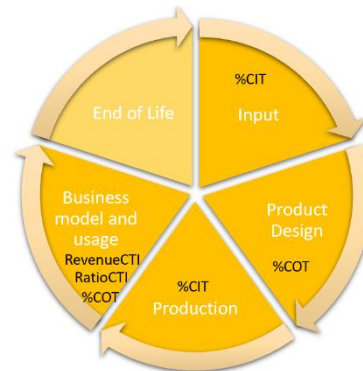
O *logos* desta alocação pode ser entendido após conhecer em detalhe a origem de cada indicador.

### 4.1.1 Dois sets de Indicadores

Com base na natureza de indicadores que serão apresentados para o **sensu stricto** foi possível dividir os sete de indicadores em dois sets de indicadores distintos, de acordo com o tipo de material que se está a considerar. Os dois sets são os *Indicadores de Ciclo de Vida do Produto* e *Indicadores da Unidade de Reciclagem*.

*Indicadores de Ciclo de Vida do Produto, fig. 19:*

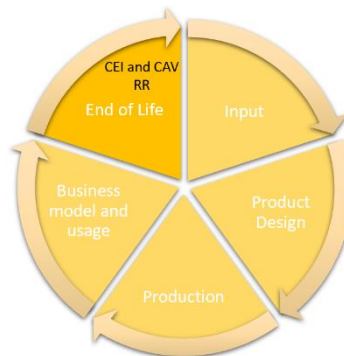
- %TEC [98]
- %TSC [98]
- ReceitaCTI [98]
- RácioCTI



*Figura 19- Indicadores Ciclo de Vida do Produto*

*Indicadores da Unidade de Reciclagem Externa (Pavilhão PCR), fig.20:*

- CEI [99]
- CAV
- RRs- Recycling Rates



*Figura 20- Indicadores Unidade de Reciclagem*

Ambos os sets de indicadores serão posteriormente testados em ambiente real com todos os resultados dispostos nos capítulos posteriores. Os indicadores que os compõem são elaborados imediatamente.

Os indicadores RácioCTI, CAV e RRs foram sugeridos por esta análise e os restantes retirados da literatura.

### 4.1.2 %TEC – Total Entradas Circulares

Este indicador avalia a circularidade total dos materiais introduzidos em designado produto. Este indicador pode ser utilizado a toda uma gama de produtos de uma empresa ou pode ser aplicado singularmente a cada produto.

Para o %TEC é necessário obter, para os produtos em estudo, a percentagem dos materiais que tem componente não virgem (reciclado, reutilizado, remanufaturado, ...) para o caso do ciclo tecnológico, e/ou componente renovável, para o caso do ciclo biológico. O total dos dois componentes devolve o

valor %Circ. No final, para cada produto, teremos a circularidade dos materiais que integra. Podemos obter esse resultado de acordo com a fórmula:

$$\%TEC_x = \frac{\%CircA * mA + \%CircB * mB + \dots}{mA + mB + \dots} \quad (1)$$

Os índices *A* e *B* podem ser representativos de dois ingredientes de um produto *x* ou representativos de dois produtos de uma gama de produtos *x*, sendo, portanto, versátil na escala que queremos analisar. Quando o estudo é aplicado unicamente a um produto/fluxo de entrada, o indicador %TEC iguala-se a %Circ. Ao contrário da forma ascendente de obtenção do %TEC, poderemos também fazê-lo de uma forma descendente e mais simplificada para algumas empresas que têm informação limitada dos componentes de alguns ingredientes que utilizam.

$$\%TEC_x = \frac{\text{massa dos fluxos não virgens} + \text{massa dos fluxos renováveis}}{\text{massa total dos fluxos de entrada}} * 100\% \quad (2)$$

Importante notar que em circunstâncias em que os materiais de entrada sejam simultaneamente não virgens e renováveis, o decisor deve considerar esses dados apenas uma vez e alocá-los ou ao fluxo renovável ou ao fluxo não virgem.

Foi colocado no segmento “Input” e “Production” do ciclo de vida do produto uma vez que ao mesmo tempo que controla a natureza dos materiais que integram determinado produto, também serve de referência para a conformidade do produto produzido onde, regularmente, a composição real do produto não corresponde ao que fora estabelecido na sua concepção.

#### 4.1.3 %TSC – Total Saídas Circulares

Este indicador procura fornecer dados sobre a capacidade de determinada empresa em:

- Conceber ou tratar certo produto de forma que este possa ser recolhido e recuperado no fim do seu ciclo de vida (seja no ciclo tecnológico seja no ciclo biológico). **%Potencial de recuperação;**
- Indicar que os seus fluxos de saída foram efectivamente recuperados (seja no ciclo tecnológico seja no ciclo biológico). **%Recuperação efectiva;**

Assim para determinado produto, a %Circularidade do fluxo de saída (%Flx) pode ser obtido como:

$$\%Flx = \%Potencial\ de\ Recuperação * \%Recuperação\ efectiva \quad (3)$$

O %Potencial de Recuperação para ciclo tecnológico tem apenas em conta o cenário em que certo material, após utilização, possa ser funcionalmente reaproveitado para um novo produto exequível e a um preço viável, excluindo os cenários em que esse material é transformado em energia sob a forma de combustíveis ou incineração, uma vez que não retorna à sua equivalência funcional. Para o caso do ciclo biológico, o %Potencial de Recuperação tem em conta uma ponderação entre a capacidade de biodegradação e a toxicidade do material para a biosfera. Os materiais híbridos (integração de componente tecnológica com biológica) que não permitam a separação devida para uma recuperação efectiva por nenhum dos ciclos de vida (tecnológico ou biológico) devem ser considerados como produtos lineares.

A %Recuperação efectiva tem em conta quanto do material do fluxo de saída foi ou recuperado por uma empresa ou biodegradado pela biosfera, nos termos originalmente propostos. Importante realçar para o ciclo tecnológico que a recolha não é sinónimo de recuperação efectiva e, para o efeito, foi considerado o ponto de contabilização para o indicador como o momento que certa quantidade do fluxo de saída, dá entrada nas instalações de um novo processo produtivo.

Após o cálculo da %Circularidade do fluxo de saída temos como resultado final o cálculo do %TSC:

$$\%TSCx = \frac{\%FlxD * mD + \%FlxE * mE + \dots}{mD + mE + \dots} \quad (4)$$

Para este caso, D e E correspondem aos produtos de um determinado sector. Quando o estudo é aplicado unicamente a um produto/fluxo de saída, o indicador %TSC iguala-se a %Flx.

Foi colocado no segmento “Product Design” e “Business Model and Usage” uma vez que tanto controla a capacidade de conceber produtos para recuperação posterior, como estimula a criação e alocação do produto a modelos de negócio que promovam uma utilização devida e uma recuperação efectiva.

#### 4.1.4 ReceitaCTI (Circular Transition Indicators)

Este indicador permite conectar aqueles que são os esforços operacionais e estratégicos para a circularidade, ao desempenho financeiro da empresa.

Permite também definir objectivos financeiros tangíveis alinhados com propostas circulares. A fórmula é:

$$ReceitaCTI = \frac{CircA * FlxA}{2} * (PreçoA * QuantidadeA) \quad (5)$$

Neste indicador, *A* refere-se a um único produto. Posteriormente, para obter a Receita CTI de uma gama de produtos, basta fazer o somatório das Receitas CTI de cada um dos produtos em estudo.

Foi colocado no segmento “Business Model and Usage” uma vez que monitoriza a rentabilidade do produto no contexto de um modelo de negócio específico.

#### 4.1.5 RácioCTI

Com o intuito de complementar o indicador ReceitaCTI com uma adimensionalidade que permita comparar diferentes produtos, foi proposto o indicador Rácio CTI.

$$RácioCTI = \frac{Receita\ CTI\ A}{(PreçoA * QuantidadeA)} \quad (6)$$

Foi colocado no segmento “Business Model and Usage” uma vez que está associado à rentabilidade do produto e ao seu modelo de negócio.

#### 4.1.6 CEI – Circular Economy Index

Este indicador e os que se sucedem são aplicados directamente na fase de fim de vida, do ciclo de vida do produto. Deste modo, o objecto de estudo não são produtos, mas sim fardos de material, filmes plásticos, a reciclar, que entram na instalação de reciclagem da Empresa A.

O cálculo deste indicador considera o rácio entre o valor do material após processo de reciclagem e o valor intrínseco do material antes do processo de reciclagem:

$$CEI = \frac{Valor\ Material\ Reciclado}{Valor\ Original\ do\ Polímero} \quad (7)$$

A unidade utilizada para este indicador é qualquer unidade monetária que se queira considerar (ex: €, \$, ¥).

Como exemplo ilustrativo deste indicador podemos utilizar um fardo hipotético de material plástico LD-PE (Polietileno Baixa Densidade) que entra na empresa para reciclar, pesando 100kg. Com as normais impurezas associadas aos fardos, foi-nos indicado pelo fornecedor que o fardo tinha 95% de pureza para o material plástico LD-PE (indicando que do peso total, 95% será material LD-PE, e os restantes 5% impurezas ou material indiferenciado). Em dados hipotéticos, se o valor de mercado do LD-PE virgem rondar os 1000€/ton num dado mês e após o processo de reciclagem, em que conseguimos

extrair 80kg de material, conseguirmos revender o granulado produzido a 750€/Ton, então o CEI, para o nosso caso hipotético será:

$$CEI = \frac{0,08Ton * 750€/Ton}{0,95 * 0,1Ton * 1000€/Ton} = 0,631 \quad (8)$$

Podemos concluir que do valor potencial intrínseco que existia de LD-PE no fardo de 100kg, conseguimos extrair 0,631. É extremamente vantajoso, pois permite à empresa saber quanto valor está a ser extraído de cada fardo, permitindo conceber diferentes cenários de produção ao longo do processo de reciclagem e prever quais as estratégias que devolvem maior valor de extração. O valor máximo de 1 significa que foi possível extrair todo o valor intrínseco do material e colocado num novo ciclo de vida, sendo um excelente sinal para um modelo de negócio de circularidade.

A versatilidade do CEI permite um constante ajustamento aos valores de mercado presentemente praticados para as matérias-primas em estudo, sendo, portanto, facilmente utilizado nas funções mais operacionais da empresa e oferece uma simplicidade de cálculo que permite reduzir os recursos humanos alocados e o tempo despendido na operação, ambas vantagens relevantes para qualquer empresa.

#### 4.1.7 CAV- Circular Added Value

Apesar das grandes vantagens que o indicador CEI oferece em fornecer informações sobre a potencialidade de extração de valor de diferentes materiais, houve uma grande desvantagem que foi rapidamente evidenciada no decorrer da sua análise, essa desvantagem tem uma natureza financeira e relativa ao facto de não conseguir, simultaneamente, evidenciar a estratégia que traria maior retorno para a empresa. Seria de esperar que a estratégia que extraia maior valor do material seja aquela que também traga maior retorno, mas a prática provou o contrário.

Para que a transição para Economia Circular ocorra de forma fluída e consistente é necessário que essa transição se alinhe com os objectivos da empresa. O indicador CEI poderia estar a evidenciar a variável ambiente, mas negligenciava a variável financeira, e esse era um dos *trade-offs* que a literatura previa que pudesse acontecer e que colocasse em causa a transição para CE e a sustentabilidade de um sistema, no longo prazo.

Com este problema, era necessário um indicador complementar ao CEI que nos indicasse que a melhor estratégia para extrair o máximo valor intrínseco dos fardos para reciclagem, era também, aquela que conduziria a um maior retorno para a empresa.

O indicador CAV prevê assim a fórmula:

$$CAV = \frac{\text{Valor Material Reciclado}}{\text{Valor Compra Lote}} \quad (9)$$

Neste contexto, entendemos o lote como a unidade de medida a que conseguimos mensurar ambos os indicadores. Poderá ser por fardos, camiões ou mesmo encomendas inteiras. Idealmente o cálculo será realizado para cada fornecedor/cliente, podendo assim criar um registo contínuo dos valores extraídos de cada fornecedor e perceber os que permitem uma maior transição para CE.

O objectivo para a unidade de reciclagem da Empresa A é utilizar o par de indicadores CEI e CAV de forma a conhecer a melhor estratégia de retorno financeiro e de valorização do material reciclado. Para qualquer um dos cenários que se considerem, A ou B, ambos os indicadores terão que ser unânimes na melhor opção para que essa opção seja a mais acertada. Caso não exista unanimidade entre os dois indicadores e cada um aponte diferentes opções como a melhor, nesse caso, algumas variáveis terão que ser alteradas (preço compra/venda, estratégia de reciclagem, fornecedor, ...) para terminar com uma unanimidade dos indicadores, para qualquer uma das opções, fig.21.

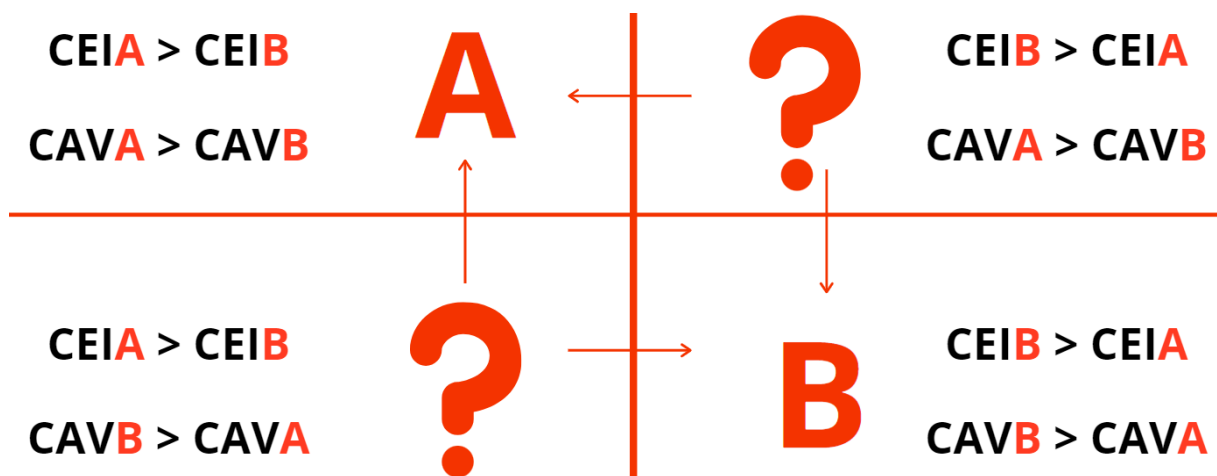


Figura 21- Estrutura de decisão utilizando o CEI e o CAV

No exemplo da fig.22, foi conjecturado um caso em que os indicadores não eram concordantes e onde se expõe uma possível solução para criar unanimidade, neste caso foi a negociação do preço de compra do lote A.

**CEI e CAV**

CEI- Circular Economy Index  
CAV- Circular Added Value

$$CEI = \frac{\text{Valor Material Reciclado}}{\text{Valor Original Polímero}}$$

$$CAV = \frac{\text{Valor Material Reciclado}}{\text{Valor Compra Lote}}$$

**A.** Fardo1 10Ton 99/1  
Preço Compra=2700€

**B.** Fardo2 10Ton 95/5  
Preço Compra=1800€

**Material Virgem = 1700€/Ton**

**A. Produz-se 8,4Ton Material A 650€/Ton**

$$CEI = \frac{8,4\text{Ton} * 650\text{€}}{0,99 * 1700\text{€/Ton} * 10\text{Ton}} = 0,32 \checkmark$$

$$CAV = \frac{8,4\text{Ton} * 650\text{€}}{2700\text{€}} = 2,022 \text{ X}$$

↻ 2500€      ↻ 2,184 ✓

**B. Produz-se 6Ton Material B 650€/Ton**

$$CEI = \frac{6\text{Ton} * 650\text{€}}{0,95 * 1700\text{€/Ton} * 10\text{Ton}} = 0,24 \text{ X}$$

$$CAV = \frac{6\text{Ton} * 650\text{€}}{1800\text{€}} = 2,166 \checkmark$$

Figura 22- Criação de unanimidade entre indicadores

#### 4.1.8 Recycling Rates (RRs) – R1, R2 e R3

Ao longo do todo o processo da unidade de reciclagem, denominado o Pavilhão PCR, é necessário monitorizar a qualidade do material nas diferentes fases do projeto, bem como, o desperdício que decorreu das diferentes etapas.

Um dos aspectos fundamentais que tem impacto directo na qualidade do material final (Granulado) é a qualidade dos fardos que dá entrada no processo. A sua qualidade foi negociada previamente de acordo com um determinado grau de pureza (%Percentagem do material pretendido) e a folha descritiva do que esse fardo contém vem normalmente anexada à folha de encomenda.

Em todo o processo a jusante da entrada dos fardos no processo de reciclagem, existe, actualmente, pouco ou nenhum processo de monitorização ou conformidade com as especificações que foram previamente negociadas. A consequência directa da inexistência de processos de conformidade, resulta, regularmente, em fardos que têm uma qualidade inferior ao que era expectável e que origina diversas consequências, por exemplo, um material final produzido (granulado) de qualidade inferior que será vendido a preços inferiores e para aplicações de menor valor, operações de limpeza e manutenção das máquinas mais frequente o que leva a quebras de produção mais frequentes e menos eficiência em todo o processo e finalmente, mas não menos importante, a quebra de confiança que decorre entre as duas partes da negociação destes fardos.

Os rácios de reciclagem (*recycling rates*) vêm auxiliar no processo de conformidade dos fardos e no processo de responsabilização dos fornecedores no material que é enviado. Composto por três rácios diferentes, procura monitorizar ao longo de todo o processo produtivo. Os rácios são:

$$R1 = \frac{\text{Produzido}}{\text{Colectado}} \quad (10)$$

$$R2 = \frac{\text{Triado}}{\text{Colectado}} \quad (11)$$

$$R3 = \frac{\text{Produzido}}{\text{Triado}} \quad (12)$$

A fig.23 ilustra o que cada um dos rácios pretende monitorizar. Todos são obtidos com unidades mássicas.



Figura 23- Esquema dos rácios de reciclagem ao longo do processo produtivo

O R1 devolve qual a quantidade que foi possível produzir tendo em conta a quantidade de material desejado que deu entrada, dando uma perspectiva geral do processo. O R2 compara o material que



sai do processo de triagem com o material que deu entrada na instalação. Neste rácio, é desejável que a composição dos fardos que é discriminada pelos fornecedores corresponda ao que passa para a fase seguinte (material pretendido) e ao que é triado como material indiferenciado. O termo “*Triado*” aplicado neste contexto, refere-se ao material que passa na triagem para a fase seguinte podendo ser utilizado também no R3, no entanto, para o R2 pode ser utilizado o peso do material que foi afastado como não desejável. Finalmente o R3 faz a comparação entre a quantidade de material que passou na triagem e a quantidade de material que foi produzido, capaz de monitorizar todo o processo que decorre entre o processo de triagem e o processo final de extrusão do granulado.

Tanto o *CEI*, como o *CAV*, como os *Recycling Rates*, estão associados ao semento “*End of Life*” do ciclo de vida do produto uma vez que avaliam as melhores estratégias a aplicar na valorização e aproveitamento dos materiais, para um novo ciclo de vida.

## 4.2 Sensus latu

A definição do **sensus latu** estende-se ao conceito mais holístico da sustentabilidade. Procura encontrar uma inclusão de factores que considere, simultaneamente, os três pilares base da sustentabilidade (Social, Ambiental, Económico).

Procurou-se encontrar uma complementaridade de indicadores que permitissem avaliar os pilares a nível individual, como também as diferentes simbioses entre os diferentes pilares.

Foram propostos alguns indicadores os quais estão dispostos no sub-capítulo 3.3.3, no entanto, a complexidade de criação de novos indicadores numa empresa, condicionou fortemente o calendário e obrigou a uma restrição nos planos para esta dissertação. Contudo, era fundamental que existisse um indicador que se enquadrasse no que era o **sensus latu** da Economia Circular. Contudo, para enquadrar indicadores já existentes na empresa, no trabalho que estava a ser realizado, foi desviado o foco da inovação de novos indicadores para a integração e aplicação dos já existentes e necessários.

### 4.2.1 OEE – Overall Equipment Efficiency

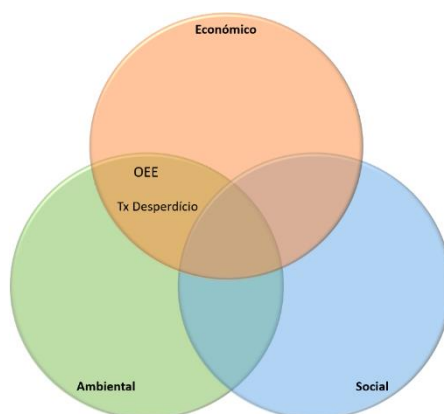


Figura 24- Indicadores Sensus Latu

Sabendo que ficou por construir um conjunto de indicadores mais robusto, os indicadores propostos para monitorizar os três pilares da sustentabilidade da empresa foram o OEE (*Overall Efficiency Equipment*) e a Taxa de Desperdício. Enquadram-se na intersecção entre o pilar económico e o pilar ambiental da sustentabilidade (fig.24) e são utilizados para monitorizar o desempenho das linhas de produção dos vários sectores da empresa e a sua evolução ao longo do tempo. Obtém-se o OEE comparando a eficiência real da máquina/processo com eficiência ideal, no âmbito de três aspectos fundamentais (fig.25):

- Availability - Disponibilidade
- Performance - Desempenho
- Quality – Qualidade

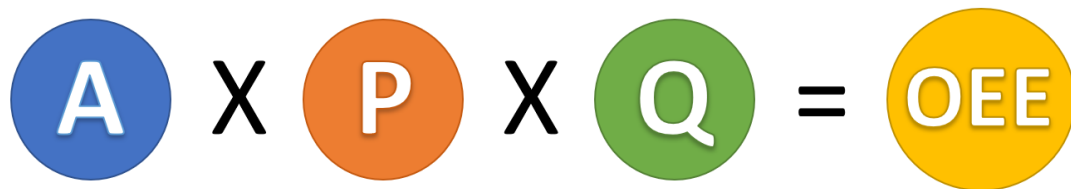


Figura 25 - Fórmula OEE

No que seria um ciclo ideal de produção, o OEE seria cem por cento, indicando também cem por cento para a Disponibilidade (A), Desempenho (P) e Qualidade (Q). Em linguagem prática, representa que determinado processo produziu interruptamente (Disponibilidade), a uma velocidade máxima (Desempenho), peças/produtos acima do *standard* de qualidade permitido (Qualidade).

A justificação para a colocação do indicador OEE na intersecção do pilar ambiental com o pilar económico (fig.24) deve-se com o facto de a optimização de um processo produtivo, onde se insere a Qualidade, prevenir a utilização indevida de energia e recursos materiais que de outra forma seriam imprópriamente utilizados, mas leva também, de uma forma indirecta, à poupança ambiental de todos os recursos que foram utilizados em toda a cadeia de valor para que esses recursos em excesso, que por si mesmo utilizados por ineficiência, tenham sido extraídos, transformados e transportados até às instalações da empresa que as utilizará. Poderá ser argumentado que esse processo produtivo, a funcionar com um OEE superior, caso esteja a produzir produtos totalmente tóxicos para o ambiente e ser humano, fosse holisticamente melhor que esse processo produtivo fosse totalmente ineficiente impedindo-o de produzir em tanta quantidade esses produtos tóxicos. É nesse sentido que é necessário um leque heterogéneo de indicadores que permita considerar os vários aspectos da sustentabilidade, retirando resíduos do ciclo, cultivar uma economia regenerativa e distributiva, que promova a biodiversidade e que elimine substâncias tóxicas do processo produtivo.

Para uma melhor compreensão de como se processa cálculo do OEE, torna-se necessário explicar a gênese de cada um dos parâmetros que o constitui, Disponibilidade (A), Desempenho (P) e Qualidade (Q).

### *Disponibilidade*

O parâmetro *Disponibilidade* procura determinar o tempo de funcionamento efectivo de um certo processo/máquina que ocorreu durante um certo intervalo de tempo em função do tempo planeado de produção do processo. A diferença entre valores decorre de paragens não planeadas que foram ocorrendo nesse intervalo de tempo (Avarias, falta de material, inexistência de operadores, ...).

$$Disponibilidade = \frac{Tempo\ Real\ de\ Produção}{Tempo\ Planeado\ de\ Produção} \quad (13)$$

A obtenção do *Tempo Planeado de Produção* tem por princípio o *Tempo Total* disponível, ou seja, o tempo total existente que serão as 24h por dias, sete dias por semana durante todos os dias do ano. A esse *Tempo Total* subtrai-se todos os elementos que estão previamente planeados como tempo em que a máquina/processo não esteja em funcionamento, nomeadamente, manutenções periódicas, fins de semana (caso aplicável), pausas para refeições ou qualquer outra paragem planeada. Daí é obtido o *Tempo Planeado de Produção*. Mesmo dentro das paragens planeadas, poderá ser excedido o tempo expectável de paragem para essa operação. Nesse caso, toda a paragem que está em excesso do planeado entrará para o segmento de paragens não planeadas.

### *Desempenho*

O *Desempenho* procura dar resposta a todas as razões que estejam a levar determinado processo a não estar a operar no seu *tempo de ciclo ideal*. Entende-se por *tempo ciclo ideal* quando o equipamento se encontra a trabalhar nas suas condições óptimas de funcionamento, levando ao tempo mínimo ideal de fabrico por peça. Existem algumas condicionantes para o *tempo de ciclo ideal*, destacando-se a velocidade de funcionamento da máquina, a experiência da equipa, a qualidade do material, entre outros.

$$Desempenho = \frac{Tempo\ Ciclo\ Real}{Tempo\ Ciclo\ Ideal} \quad (14)$$

De forma a obter ambos os tempos de ciclo será necessária uma análise caso a caso dos dados existentes e de que forma é possível transformá-los em dados que representem o ciclo ideal e os dados que representem o ciclo real.

## Qualidade

O parâmetro da *Qualidade* procura comprovar qual o número de unidades produzidas que preenchem os requisitos mínimos de qualidade para que possa avançar na linha de produção. A sua interpretação é intuitiva e tem como dados necessários, informações facilmente registadas em qualquer área produtiva.

$$Qualidade = \frac{Material\ OK}{Total\ Material} \quad (15)$$

Existem algumas etapas do processo produtivo que não demonstram consenso entre a Indústria sobre se determinado material deva ser considerado como desperdício real ou meramente como uma parte do processo que é incontornável e, por isso, externalizado do parâmetro *Qualidade* do *OEE*.

### 4.2.2 Taxa de Desperdício

Este indicador explica implicitamente o objectivo do seu cálculo, determinar a quantidade de desperdício material que decorre da actividade produtiva de Empresa A

Assemelha-se com o aspecto *Qualidade do OEE*, diferindo apenas no foco do cálculo, uma que a *Qualidade* se concentra no material com qualidade acima dos standards definidos e a *Taxa de Desperdício* se concentra no material que foi desperdiçado. Obtém-se como:

$$Tx\ Desperdício = \frac{Material\ Desperdício}{Total\ Material} \quad (16)$$

Optou-se por destacar este indicador por ser uma vertente do processo produtivo com especial interesse para a administração da Empresa A, e por isso, merece ser acompanhado atentamente, com um formato simples e fácil de ser partilhado entre diferentes *stakeholders*. Controlar o desperdício traz também benefícios ao nível financeiro, no custo dos materiais, e ao nível ambiental pelos mesmos motivos que foram referenciados no segmento *Qualidade do OEE*.



## 5. Resultados obtidos

Os resultados que se seguem têm como base as actividades práticas que decorreram em ambiente real, nas instalações da Empresa A. Como tal, aplicaram-se todos os indicadores propostos e verificou-se a viabilidade e relevância dos resultados, tanto para a Empresa A, como para a promoção da Circularidade.

### 5.1 Sensus stricto

Foi desenvolvida uma análise enquadrada no ciclo de vida do produto e na unidade de reciclagem da Empresa A. A análise teve objectos de estudo distintos uma vez que para o Ciclo de Vida do Produto a unidade funcional é um produto, e para a Unidade de Reciclagem a unidade funcional é o fardo de material plástico. No decorrer desta análise, a Empresa A submeteu um *Paper* numa conferência internacional de embalagens circulares (*2nd International Circular Packaging Conference*) onde foi sumariado o trabalho que foi desenvolvido no decorrer desta dissertação.

#### 5.1.1 Indicadores de Ciclo de Vida do Produto

Para a execução dos *Indicadores de Ciclo de Vida*, foram seleccionados alguns produtos da Empresa A, que serviram como modelo de análise para viabilidade dos resultados. Os produtos do A ao M, foram seleccionados por pertencerem a um grupo de produtos *High runner* (produtos com vendas relevantes para a Empresa A), e por isso têm influência nas decisões estratégicas tomadas. O produto N foi inserido, por pertencer a uma nova linha de produtos recentemente lançada e tem como foco uma relação mais próxima com o cliente em relação a uma cadeia de valor, inserida na Economia Circular.

Os resultados da Tab.2, demonstram que os indicadores são capazes de espelhar o esforço imposto pela Empresa A para a Economia Circular e, neste caso, um foco mais alargado na recuperação de materiais. O produto N prova que maior foco na cadeia de valor e de recuperação de materiais, traz resultados superiores para os indicadores. Os valores da Tab.2, são referentes ao primeiro trimestre 2021.

Tabela 2- Resultado dos Indicadores de Circularidade numa gama de produtos seleccionados pela Empresa A

Produto	%Renovável/ Green/BIG	% REC	% TEC	%Potencial Recuperação	%Recuperação Efectiva	%Flx / %TSC	ReceitaCTI	RácioCTI
A	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>28 763,08 €</b>	<b>45,2%</b>
B	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>32 834,06 €</b>	<b>45,2%</b>
C	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>6 813,68 €</b>	<b>45,2%</b>
D	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>26 609,83 €</b>	<b>45,2%</b>
E	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>15 568,73 €</b>	<b>45,2%</b>
F	0,0%	80,0%	<b>80,0%</b>	100,0%	33,9%	<b>33,9%</b>	<b>30 409,51 €</b>	<b>57,0%</b>
G	0,0%	80,0%	<b>80,0%</b>	100,0%	33,9%	<b>33,9%</b>	<b>13 780,99 €</b>	<b>57,0%</b>
H	0,0%	94,3%	<b>94,3%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>23 114,64 €</b>	<b>47,1%</b>
I	0,0%	90,0%	<b>90,0%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>4 618,15 €</b>	<b>45,0%</b>
J	20,0%	80,0%	<b>100,0%</b>	100,0%	8,6%	<b>8,6%</b>	<b>23 766,45 €</b>	<b>54,3%</b>
L	10,0%	85,0%	<b>95,0%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>3 788,03 €</b>	<b>47,5%</b>
M	10,0%	85,0%	<b>95,0%</b>	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>	<b>397,78 €</b>	<b>47,5%</b>
N	25,0%	70,0%	<b>95,0%</b>	100,0%	88,9%	<b>88,9%</b>	<b>27 249,70 €</b>	<b>91,9%</b>

## % Análise do indicador TEC

Tabela 3- Resultados Indicador %TEC

Produto	%Renovável/ Green/BIO	% REC	% TEC
A	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>
B	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>
C	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>
D	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>
E	0,0%	90,3%	<b>90,3%</b>
F	0,0%	80,0%	<b>80,0%</b>
G	0,0%	80,0%	<b>80,0%</b>
H	0,0%	94,3%	<b>94,3%</b>
I	0,0%	90,0%	<b>90,0%</b>
J	20,0%	80,0%	<b>100,0%</b>
L	10,0%	85,0%	<b>95,0%</b>
M	10,0%	85,0%	<b>95,0%</b>
N	25,0%	70,0%	<b>95,0%</b>

No que é referente ao material que é inserido nos 13 produtos que foram estudados, é constatável pela Tab.3 que todos eles mantêm um sólido desempenho na quantidade de material primário fóssil que é excluído da sua composição. Para esta gama de produtos, o valor mínimo presente de %TEC é de 80%, podendo chegar, no caso do *produto J*, aos 100%. Em primeiro lugar, é importante referir que a existência deste indicador permite comparar eficazmente e rapidamente a percentagem de material Reciclado/Bio/Renovável em diferentes produtos da empresa, sendo compatível com o objectivo de consciencialização da Empresa A para sustentabilidade, junto do seus *stakeholders*. Anteriormente, a forma de verificar e comunicar estes dados, era através da folha de obra do produto, sendo uma lista de ingredientes existente para cada produto e que permite conhecer a sua composição. Num processo de monitorização que requer um acompanhamento constante da informação, este formato seria demorado e pouco claro, não permitindo, ao mesmo tempo, uma comparação eficaz entre produtos.

Em segundo lugar, é também verificável que grande parte dos valores %TEC dos produtos listados, provém maioritariamente do segmento %REC (Reciclado). Na sua maioria, %Renovável/Bio/Green é de 0%, atingindo um máximo de 25% em apenas um produto. Essa evidente discrepância entre percentagem de material reciclado para percentagem de material renovável, bio ou green deve-se, ao custo, uma vez que o preço de mercado do material bio (4€/kg) tende a ser substancialmente mais caro que o material secundário fóssil (0,8€/kg), à natureza do produto, uma vez que um produto que é vendido com baixo valor acrescentado é economicamente inviável produzir com matérias primas de valor mais elevado e, finalmente, a tendência de mercado leva a que cada vez mais as empresa demonstrem maior interesse em introduzir nas suas embalagens, um elevado teor de material reciclável o que influenciou no recente investimento no pavilhão de reciclagem de PCR (Post-Consumer Resins) realizado pela Empresa A.

No caso da folha de obra referente ao produto N, a sua composição de %TEC será de 95% onde os restantes 5% são utilizados para dar a componente de cor ao produto. Neste caso em concreto, o valor em falta para o máximo de %TEC diz respeito a características que não comprometem a utilidade do

produto, sendo um caso exemplar em que uma colaboração entre produtor/cliente possa favorecer a prestação neste indicador.

Para além desta gama de produtos, foi realizado o cálculo deste indicador para toda a empresa, durante os meses de janeiro a abril. Uma vez que a Empresa A tem uma gama de produtos na ordem das centenas, seria inviável calcular o %TEC aplicando a cada produto. Em alternativa, considerou-se todo o material que deu entrada no sector de extrusão (primeira etapa do produto) fig.1, medindo quanto dessa quantidade era não virgem ou renovável.

*Tabela 4- %TEC total Empresa A*

<b>Mês</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Acumulado</b>
<b>BIO (kg)</b>	108 810	101 555	110 522	86 890	407 777
<b>RECICLADO (kg)</b>	288 372	261 341	284 381	295 236	1 129 331
<b>TOTAL (kg)</b>	872 202	784 923	925 375	807 334	3 389 834
<b>%BIO</b>	12,5%	12,9%	11,9%	10,8%	12,0%
<b>%RECICLADO</b>	33,1%	33,3%	30,7%	36,6%	33,3%
<b>%TEC Interno</b>	<b>45,5%</b>	<b>46,2%</b>	<b>42,7%</b>	<b>47,3%</b>	<b>45,3%</b>

O resultado é o que consta na Tab.4, em que o valor acumulado foi de 45,3% nos quatro meses de estudo, mais concretamente, um terço é referente à componente %BIO e os restantes dois terços são referentes ao componente %Reciclado (Não Virgem). O que se conclui é que, quase metade do material que é actualmente utilizado pela Empresa A vem de entradas circulares e que, em semelhança dos produtos previamente mencionados, a componente %Reciclado é bastante superior à componente %BIO pelas razões já evidenciadas. O cálculo baseou-se no documento providenciado pela Empresa A que indica todas as matérias-primas utilizadas num dado mês.

#### *Análise do indicador %TSC*

Na análise do indicador %TSC é possível verificar que os valores associados à recuperação dos fluxos de saída são substancialmente inferiores à circularidade dos fluxos de entrada, Tab.5. Torna-se perceptível que a maior dificuldade da Empresa A no segmento da circularidade de materiais encontra-se, principalmente, nas áreas associadas à recolha e recuperação.



Tabela 5- Resultados Indicador %TSC

Produto	%Potencial Recuperação	%Recuperação Efectiva	%Flx / %TSC
A	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
B	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
C	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
D	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
E	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
F	100,0%	33,9%	<b>33,9%</b>
G	100,0%	33,9%	<b>33,9%</b>
H	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
I	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
J	100,0%	8,6%	<b>8,6%</b>
L	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
M	0,0%	0,0%	<b>0,0%</b>
N	100,0%	88,9%	<b>88,9%</b>

O problema da recuperação estende-se a muitas empresas da área dos plásticos e muitas outras indústrias. Esse problema, no caso da Empresa A deve-se, essencialmente a dois pontos fundamentais:

- **Concepção precária e utilização indevida** é o principal factor que faz com que produtos sejam colocados nos mercados para utilizações que não justificam o tipo de material, cor, ou forma utilizados. Naturalmente, sendo colocados em ciclos de vida deficientes, a sua recuperação fica imediatamente condicionada por concepção, ficando visível na coluna %Potencial Recuperação da Tab.5. No caso das entradas com 0% para essa coluna, estão associados a sacos do lixo de cor preta, para lixo indiferenciado. Dissecando a utilidade deste material, é visível que a sua utilização está programada para ser de um único ciclo de vida (lixo para incineração ou aterro) ficando imediatamente condicionada a sua circularidade. O facto de haver poucas soluções para o fim de vida de resíduos indiferenciados, que em plano doméstico é resíduo orgânico com indiferenciado, leva a que o produto necessário para as acondicionar, que é necessário, seja destinado a ser linear.
- **Pouca colaboração entre agentes da cadeia de valor** faz com que a informação não flua adequadamente e impede que a empresa produtora dos materiais não consiga efectuar um rastreio ao longo do ciclo de vida. Por consequência, no momento da recuperação efectiva a empresa produtora não tem conhecimento da quantidade de material que foi recuperado. A nível nacional, se o material não for devolvido num ciclo fechado para o produtor, a empresa produtora não tem forma de saber se o restante material não devolvido foi ou não recuperado efectivamente, sendo necessário a informação do cliente, referente ao fim de vida dos produtos e a informação de eventuais parceiros existentes no processo de reciclagem. Em circunstâncias em que o produto seja enviado para outras geografias, o processo de rastreamento da recuperação do material torna-se ainda mais difícil de controlar.

Na análise dos produtos da Tab.5, foram sentidas as dificuldades discriminadas anteriormente e foi necessário criar algumas premissas:

1. No caso do **%Potencial Recuperação**, foram analisados todos os produtos que, por concepção, têm características que permitem a sua recuperação. Como foi referido, dos treze produtos estudados, nove tiveram um desempenho de 0%, estando associado à solução fim de vida (incineração ou aterro). Os restantes quatro produtos, tiveram um resultado antagónico, onde 100% do material tem potencialidade de ser recuperado. Neste caso a sua utilidade não está dirigida para soluções fim de vida lineares (incineração ou aterro), e tem características físicas que permitem a sua reutilização posterior, maioritariamente em forma de reciclagem. Referir que certo produto tem potencialidade de 100% de ser recuperado não reflecte a sua efectiva recuperação, e a sua distinção merece ser evidenciada.
2. A obtenção da **%Recuperação Efectiva** encontrou diversas complexidades na forma com se encontraram os dados. Do total de treze produtos, apenas quatro apresentam valor diferentes de 0%. Naturalmente, todos os produtos que apresentaram 0% no segmento *%Potencial de Recuperação*, devolveram valores de recuperação efectiva de 0%. Para melhorar este segmento de produtos é necessária uma intervenção ao nível do design e repensar, dentro da utilidade que é proposta para esse produto, estratégias que incrementem a sua recuperação. De outra forma, compreender que o produto serve um propósito que é fundamentalmente linear, como é o lixo, e enquanto existir pouca utilidade para esse lixo indiferenciado, o produto terá sempre fraca prestação nos indicadores de circularidade.
3. Por outro lado, houve quatro produtos que manifestaram recuperação efectiva e irão ser detalhados esses valores:
  - a. Os *produtos F e G* são produtos consumidos a nível nacional e representam sacos de alça para supermercados. A sua composição e a sua utilização pressupõem um potencial de recuperação de 100%, visto que todo o produto pode ser reciclado. No entanto, no momento em que o consumidor adquire um saco e leva-o consigo, torna-se bastante complexo compreender que tipo de comportamento terá o consumidor em relação ao *fim de vida* desse produto. Neste contexto, não existindo ainda nenhum método implementado que permita rastrear estes produtos, foi necessário adoptar um “plano B”, proposto pela WBCSD, onde se consideram as taxas nacionais de recuperação para o plástico, como o valor referência adoptado para a recuperação dos produtos. Idealmente, quanto mais específicos forem os dados adoptados mais próxima será a inferência. Os dados de referência adoptados foram obtidos pela *Eurostat* referente à reciclagem de embalagens de plástico com os últimos dados a serem referentes ao ano 2018, com a última actualização a ser realizada a 18/06/2021 pelas 22:00, fig.26. O valor adoptado para a **%recuperação efectiva** dos produtos F e G foi de 33,9%.

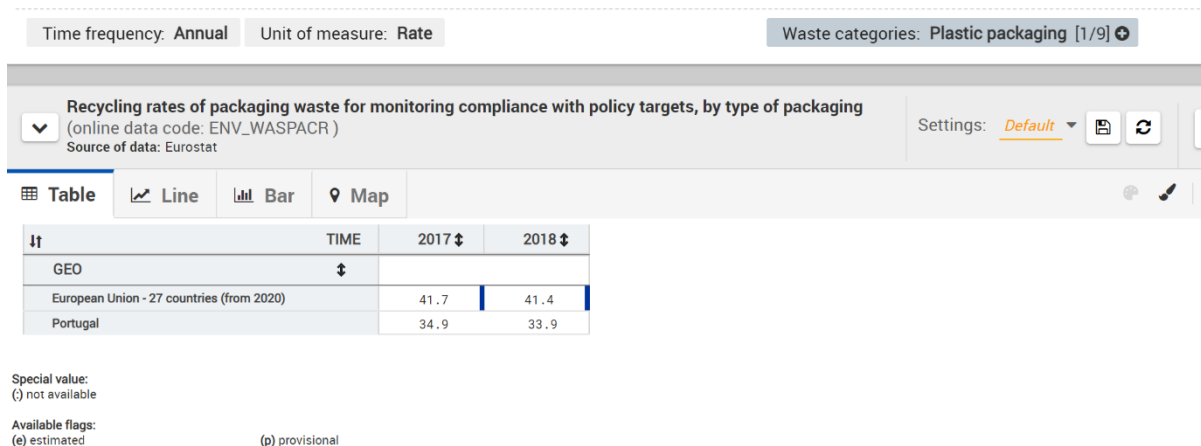


Figura 26- Reciclagem de embalagens de plástico Portugal (visto a 22/09/2021). [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_WASPACR\\_custom\\_422013/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASPACR_custom_422013/default/table?lang=en)

b. O produto J, por sua vez, é produzido pela Empresa A e consumido nos Estados Unidos da América. No mesmo pressuposto, a escassa partilha de informação entre a parceria e a dificuldade de conhecer o comportamento do consumidor pós-compra, torna o controlo da **%Recuperação Efectiva** complexa. Como valor de referência, foi adoptado o valor nacional de reciclagem de plástico para MSW (*Municipal Solid Waste*). Os dados mais recentes são referentes a 2018 e obtidos pela EPA (*United States Environmental Agency*), fig.27. Relembro que os dados reais de recuperação, após obtidos, poderão ser superiores ou inferiores à taxa nacional.

Management Pathway	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2017	2018
Generation	390	2,900	6,830	17,130	25,550	29,380	31,400	34,480	35,410	35,680
Recycled	-	-	20	370	1,480	1,780	2,500	3,120	3,000	3,090
Composted	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustion with Energy Recovery	-	-	140	2,980	4,120	4,330	4,530	5,330	5,590	5,620
Landfilled	390	2,900	6,670	13,780	19,950	23,270	24,370	26,030	26,820	26,970

Sources: Plastics information is from the American Chemistry Council, the National Association for PET Container Resources and The Association of Plastic Recyclers.

A dash in the table means that data is not available.

Figura 27- Valores de reciclagem para MSW 2018, EUA (visitado a 23/09/2021); <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data>

- c. O *produto N*, Tab.6 ofereceu maior rigor no cálculo da **%Recuperação efectiva** uma vez que faz parte da nova aposta da Empresa A na criação de parcerias mais próximas e focadas na Economia Circular. Com este produto, a Empresa A faz um esforço activo, juntamente com o seu cliente, em garantir que toda a quantidade de material que dá entrada no mercado volta para as instalações de reciclagem da empresa de forma a ser transformado no mesmo produto. Até ao fim do primeiro trimestre de 2021, a Empresa A colocou no mercado 6752,55kg do *produto N*, em que 4725,79kg era material reciclado. No entanto, nesse mesmo período, o parceiro da Empresa A devolveu em material, cerca de 6000kg de material. Sabemos que apenas 4726,79kg foram efectivamente usados para novos produtos, no entanto, como foi referido em secções anteriores, o ponto de contabilização para o indicador como o momento que certa quantidade do fluxo de saída, dá entrada nas instalações de um novo processo produtivo, e nesse caso o valor considerado foram os 6000kg. Os restantes 752,55 kg que ficaram por monitorizar, não deram entrada nas instalações. Podemos apenas inferir que alguma quantidade dessa quantidade está associada a pequenas “fugas” do fluxo do material (p.ex, não devolução do consumidor) e a restante terá sido ou encaminhada para outros parceiros do cliente ou para qualquer outra solução de *fim de vida*. Qualquer que seja a realidade, a Empresa A não dispõe de qualquer informação relativa a esse fluxo de material, e até à existência de dados mais concretos, considerará essa quantidade em falta, como fluxo linear. O rácio dos 6000kg com os 6752,55kg resulta no valor final de 88,9% para a **%Recuperação efectiva**.

Tabela 6- Valores de reciclado associado ao produto N

Produto	Peso total vendas (kg)	Peso total reciclado (kg)	%Renovável/ Green/BIC	% REC	% TEC	%Potencial Recuperação	%Recuperação Efectiva	%Flx / %TSC
N	6752,55 kg	4726,79 kg	25,0%	70,0%	95,0%	100,0%	88,9%	88,9%

### ReceitaCTI

Em função dos valores em cada produto, para os indicadores anteriores, é possível, sem dificuldade, calcular os dois indicadores que se sucedem. A **ReceitaCTI** é obtida através da média entre %TEC e %TSC.

Do ponto de vista absoluto, é possível verificar a facturação proveniente de medidas circulares, contudo, por ser absoluto, os produtos com maiores medidas circulares não são, necessariamente os produtos com maior ReceitaCTI, Tab.7, uma vez que depende também do volume de vendas. O indicador seguinte complementa essa informação.

Tabela 7- Valores ReceitaCTI e RácioCTI

Produto	Vendas (UN)	Facturação (€)	% TEC	%Flx / %TSC	ReceitaCTI	RácioCTI
A	134 400	63 705,60 €	90,3%	0,0%	28 763,08 €	45,2%
B	188	72 722,16 €	90,3%	0,0%	32 834,06 €	45,2%
C	28 800	15 091,20 €	90,3%	0,0%	6 813,68 €	45,2%
D	112 260	58 936,50 €	90,3%	0,0%	26 609,83 €	45,2%
E	56 160	34 482,24 €	90,3%	0,0%	15 568,73 €	45,2%
F	4 734	53 396,85 €	80,0%	33,9%	30 409,51 €	57,0%
G	2 432	24 198,40 €	80,0%	33,9%	13 780,99 €	57,0%
H	4 047	49 049,64 €	94,3%	0,0%	23 114,64 €	47,1%
I	784	10 262,56 €	90,0%	0,0%	4 618,15 €	45,0%
J	54 720	43 768,78 €	100,0%	8,6%	23 766,45 €	54,3%
L	20 148	7 974,80 €	95,0%	0,0%	3 788,03 €	47,5%
M	1 116	837,44 €	95,0%	0,0%	397,78 €	47,5%
N	763	29 642,55 €	95,0%	88,9%	27 249,70 €	91,9%

### RácioCTI

Para tornar os valores comparáveis entre si, foi necessário verificar resultados para a ReceitaCTI tendo em conta a facturação associada a cada produto. A Tab.7 confirma que, sem surpresas, o *produto N* apresenta o valor superior em que 91,9% da facturação advém de factores circulares. Por outro lado, os restantes produtos têm facturações associadas à circularidade na ordem dos 50%, devido essencialmente aos valores elevados de %TEC.

### 5.1.2 Indicadores da Unidade de Reciclagem

Nesta secção o estudo recaiu sobre a unidade de reciclagem (Pavilhão PCR), nomeadamente, na qualidade dos fardos de reciclagem e na eficiência do processo industrial. Para tal, foram obtidos os resultados para os indicadores CEI, CAV e RRs.

Para o estudo, foram considerados três cenários distintos que permitiram verificar a qualidade dos fardos segundo diferentes perspectivas:

1. Diferente Fornecedor, Diferente Pureza;
2. Mesma Pureza, Diferente Fornecedor;
3. Mesmo Fornecedor, Mesma Pureza, Datas Diferentes

As tabelas onde estarão disponíveis os resultados seguem todas a mesma formatação e têm alguns dados que merecem ser explicados. O *peso* é o peso total de uma dada encomenda, correspondendo a um cliente específico, sendo dividido por unidades mais pequenas chamadas fardos. fig.28.



Figura 28- Fardos empilhados (Material de entrada unidade de reciclagem PCR)

A Qualidade dos Fardos diz respeito à sua pureza, ou seja, à quantidade de material desejado (percentualmente) expectável em cada encomenda. No processo de reciclagem, o material é sujeito a duas fazes distintas de triagem, a que chamámos Passagem, dividido entre 1ªPassagem (1P) e 2ªPassagem (2P). A cada uma dessas passagens está associado um processo de extrusão de granulado, fig.29, presente em Granulado Produzido. As colunas referentes a CEI, CAV e R1 indicam os resultados obtidos em cada uma das encomendas e são elaborados nas respectivas ocasiões.



Figura 29- Granulado (Produto acabado)



O último factor a ser considerado é o Max Teórico CEI. Idealmente, o indicador CEI está compreendido entre 0, o mínimo, e 1, o máximo. No contexto actual da indústria e dos mercados, o plástico reciclado é uma *commodity* com alta volatilidade nos valores de transação. Assim, visto que o valor é mutável, o Max Teórico CEI refere o valor máximo de CEI que se pode obter num dado momento. Este valor tem em conta o preço de mercado da matéria-prima virgem, como denominador, e o preço máximo a que se consegue vender o material reciclado, como numerador. Nos casos em estudo, o valor poderá ser diferente visto que foi obtido em intervalos diferentes de tempo.

Foram também consideradas algumas premissas para a análise das três situações diferentes. A primeira premissa considera que no processo de triagem do material reciclado todo o material que é considerado resíduo é efectivamente detectado. Em cada triagem, existe uma grande quantidade de material “bom” que é afastado da linha de produção e considerado resíduo, e em contrário, existe algum material que é resíduo e que acaba por “escapar” à triagem e não é separado da linha de produção. Para simplificação do estudo, foi considerado que, nenhum resíduo real conseguia “escapar” à triagem e que todo o material que segue na linha de produção é apenas material “bom”.

A segunda premissa considera que dos resíduos que são separados na triagem, 80% deles são de calibre superior, denominado fracção 3D ou balístico, e 20% deles são de calibre inferior, denominados finos. Estes valores foram obtidos com base na observação empírica dos operadores da unidade de reciclagem, visto que à data do estudo, a Empresa A não tinha ainda encomendado uma balança para verificar os valores rigorosos. Os finos, dada a sua dimensão, nunca são reintroduzidos em segundas triagens e são automaticamente definidos como resíduos, mesmo que contendo material “bom”. A fracção 3D, por outro lado é a que é reintroduzida em triagens posteriores. A disposição do separador de balístico da Empresa A, fig.30, tem uma inclinação de 17°.

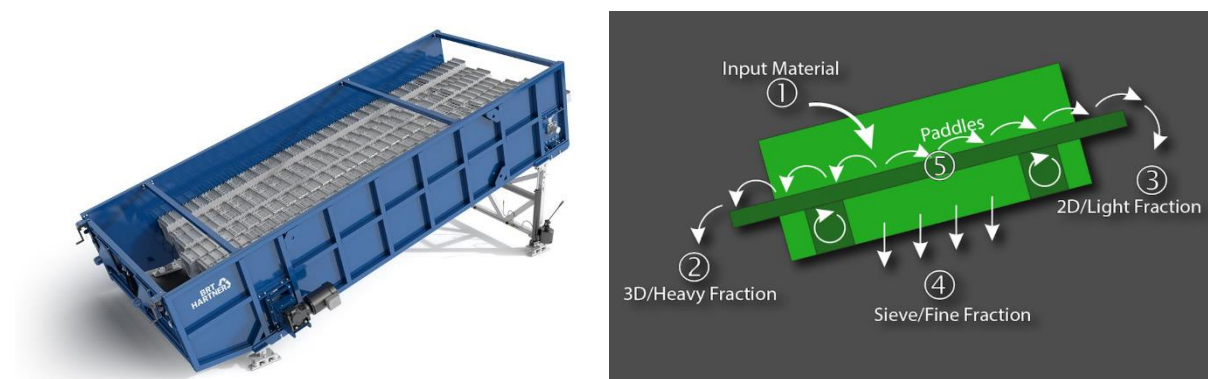


Figura 30- Separador de Balístico e respectivo diagrama. Consultado a 10/10/2021 (<https://www.eggersmann-recyclingtechnology.com/en/recycling-machines/brt-hartner-opening-dosing-and-sorting-systems/products/ballistic-separator-brt-hartner-bs/>) (<http://metaltechsystems.com/product/h2ballsort/>)

## 1. Diferente Fornecedor, Diferente Pureza

Para o estudo, foram utilizadas duas encomendas, proveniente de diferentes fornecedores. A O1, deu entrada no estabelecimento a dia 9/7 e a O2 deu entrada a 13/7. O peso indicado é o peso total da encomenda, sendo dividido por unidades mais pequenas chamadas fardos.

A pureza referente a cada uma das encomendas é de 98/2 para a O1 e 80/20 para as encomendas O2. Como referido anteriormente, a pureza indica a quantidade de material desejado (percentualmente) expectável em cada encomenda. Neste exemplo, enquanto a primeira passagem foi realizada individualmente, a segunda passagem resultou da união dos resíduos da O1 com a O2. Ainda assim, através de algumas aproximações, foi possível alocar as informações da segunda passagem a cada uma das *Ordens*, de forma proporcional tanto à qualidade como à quantidade.

A solução encontrada para individualizar encomendas num balístico proveniente de diferentes origens, teve os seguintes passos:

- I. Tendo em conta a pureza de cada encomenda, começou-se por a quantidade teórica de material não desejado expectado. Como exemplo, em uma encomenda de 100 kg, qualidade 98/2, era expectável existir 2kg de material não desejado;
- II. Conhecendo o peso total do material presente no balístico após primeiras passagens, compara-se com os valores teóricos obtidos e verifica-se se estes são compatíveis.
  - a. Caso sejam, então significa que todo o material desejado foi extraído à primeira não havendo razão para uma segunda passagem;
  - b. Caso não sejam, e tal como já foi referido nas premissas apresentadas, assume-se, simplisticamente, que todo o material não desejado foi efectivamente triado e que todo o material que excede o valor teórico de balístico calculado, é considerado como material bom que ainda não foi extraído.

<b>Ordem</b>	<b>Pureza</b>	<b>Balístico Teórico (kg)</b>	<b>Balístico Real (kg)</b>	<b>Material Desejado não extraído (kg)</b>
<b>O1</b>	98/2	480,4	9194	8714
<b>O2</b>	80/20	3288	7278	3990

- III. Somam-se todos os valores de “material desejado não extraído” das diversas encomendas ( $8714+3990=12\ 704$ ).
- IV. Conhecendo o valor do granulado extraído da segunda passagem, é possível calcular a eficiência do processo de triagem ( $10\ 251/12\ 704= 0,81$ ).
- V. Dessa eficiência de 81%, extrapola-se que 10 251kg de granulado é o somatório “Material Desejado não extraído” de 81% relativo à O1 e 81% relativo à O2, obtendo o valor final de 7032 e 3219, respectivamente.



Tabela 8- Cenário 1: Diferente Fornecedor, Diferente Pureza

Ordem	Peso (kg)	Qualidade Fardos	Passagem	Granulado Produzido(kg)	CEI	CAV	Max Teórico CEI	R1
O1	24020	98/2	1ª	12527	0.235	1.574	0.441	83%
			2ª	7032	0.356	2.390		
O2	16440	80/20	1ª	7343	0.228	0.784	0.441	80%
			2ª	3219	0.327	1.128		

A primeira passagem, Tab.8 destaca desde logo a vantagem em processar fardos de maior qualidade. Imediatamente, a O1 apresenta um CAV de 1.574, valor que indica que se recuperou aproximadamente 150% do valor do investimento inicial sobre os fardos, ao contrário da O2 que apenas recuperou 78% do investimento. Paralelamente, o mesmo aconteceu com o CEI, onde se verificou que fardos com maior pureza possibilitam extrair maior valor, do valor potencial intrínseco (consultar 4.1.6).

Após a primeira passagem de ambas as ordens, o balístico existente contém uma mistura de material proveniente de ambas as operações de triagem. O passo seguinte envolveu recolher todo o material da fracção 3D e reinseri-la de volta ao início do processo de reciclagem PCR (consultar 2.1.3).

É prática comum que se efectuem inúmeras primeiras passagens sucessivas e em que o material do balístico seja a mistura de várias encomendas, no entanto, o objectivo do estudo é alocar um determinado valor de CEI e CAV a uma determinada encomenda que dê entrada no pavilhão de reciclagem PCR, o que, após uma mistura de encomendas, torna complexa esta rastreabilidade. Descobrir uma forma de obter essa individualidade de encomendas, de um balístico heterogéneo, é uma proposta de alto valor para a Empresa A ao qual teve que ser endereçado. Do ponto de vista de controlo de qualidade e de responsabilização, misturar encomendas não será o *modus operandi* ideal, contudo as realidades operacionais são muitas vezes voláteis e também nesses cenários é preciso soluções.

Estes valores finais redireccionam para o que consta na Tab.8 e os seus resultados. Os valores referentes à segunda passagem revelam a necessidade de a realizar. Em ambas as encomendas os valores de CEI e CAV aumentaram em aproximadamente 50%, o que revela que não só existe muito valor potencial a ser extraído, como revela que a primeira passagem é bastante ineficiente a triar material, com rendimentos para a O1 e O2 de 53% e 56%, respectivamente, para a extracção do material desejado.

Comparando os dados de ambas as encomendas, fica visível que a O1 tem maior interesse económico e maior potencialidade para Economia Circular. Embora os rendimentos entre passagens tenham sido semelhantes, 53% e 80,7% para O1 e 56% e 81% para a O2, a qualidade dos fardos da O1, permitem, desde logo, que o material resultante seja de maior qualidade e vendido a melhor preço. Não só traz

maiores retornos financeiros para a empresa (visível no CAV), como permite que seja extraído mais valor intrínseco das encomendas e transformá-las, com maior probabilidade, em novos produtos de igual valor ao original.

Para o caso do indicador CEI, o Máx CEI Teórico foi de 0.441, pois à data do processamento, a matéria-prima virgem era negociada a 1,95€/kg e o preço a que era possível vender o material reciclado de maior qualidade era de 0,86€/kg. Com base nesse limite, a O1, após a segunda passagem, atingiu 81% da qualidade extraível e a O2 atingiu 74%, correspondendo a CEI de 0,356 e 0,327, respectivamente.

Os valores resultantes para o indicador CAV foram tão dispares for diversas razões:

1. **Preço de Compra** - A O1 apesar de ter maior qualidade que a O2 foi negociada a preços por quilograma inferiores;
2. **Preço de Venda** – A O1 por ter maior pureza permite que o granulado resultante tenha uma maior qualidade, que se reflete em um preço de venda maior, quando comparado com O2.

Finalmente, o índice de reciclagem R1 revela que, apesar de qualidades diferentes, o processo industrial foi capaz de extrair aproximadamente a mesma quantidade de material de cada uma das encomendas. Para a O1, o indicador R1 foi de 83% e para a O2 o valor de R1 foi de 80%. Tal informação, em conjunto com as fracções identificadas na selecção óptica, dão uma informação relevante ao seguimento da qualidade dos fornecimentos.

## *2. Mesma Pureza, Diferente Fornecedor*

A segunda análise é referente a duas encomendas com as mesmas características de qualidade, mas provenientes de fornecedores diferentes. Como foi referido, a transição para uma Economia Circular requer fortes parcerias e partilhas de informação rigorosas. Desta forma, é importante monitorizar atentamente as características dos fardos enviados pelos parceiros, com o objectivo final de fortalecer e desenvolver mais parcerias com os que cumprem as especificações e comunicar e responsabilizar com os que não cumprem. Para o presente caso de estudo, foi utilizada a O3, processada a 30/9/2021 com uma qualidade de 98/2, e a O4, processada a 16/9/2021 com qualidade de 98/2.

Tabela 9- Cenário 2: Mesma Pureza, Diferente Fornecedor

Ordem	Peso (kg)	Qualidade Fardos	Passagem	Granulado Produzido (kg)	CEI	CAV	Max Teórico CEI	R1
O3	18680	98/2	1ª	11231	0,280	1,270	0,557	91%
			2ª	5369	0,414	1,877		
O4	20600	98/2	1ª	13882	0,314	1,998	0,557	89%
			2ª	4091	0,407	2,587		

Neste cenário, Tab.9 ao contrário do anterior, não existiu mistura de balístico após primeira passagem, sendo todos os dados exclusivos a cada encomenda, sem intersecções.

Verifica-se nesta análise que os valores de CEI são superiores aos obtidos no cenário anterior, onde a encomenda O2 também tinha qualidade de 98/2. Esta discrepância entre valores pode revelar, sabendo que o processo operacional está inalterado, que a qualidade real dos fardos anteriores era inferior à dos recentes, mesmo tendo uma qualidade teórica igual.

Trazendo a discussão para as encomendas O3 e O4, é visível que ambas obtêm resultados bastante semelhantes no que diz respeito à qualidade, indicador CEI. Terminam a segunda passagem com um CEI a diferir em apenas sete milésimas, nomeadamente, 0,414 para a O3 e 0,407 para a O4, o que representa 74% e 73% do Máx. Teórico CEI (0,557). Mas o facto de terem resultados bastante semelhantes na extracção de valor potencial intrínseco (CEI), o que mais de destaca é que ambos ficaram aquém do valor máximo teórico.

Este fenómeno deve-se a duas hipóteses principais, ou os fardos comprados não apresentam a qualidade teórica que os fornecedores assumem ter, ou o processo produtivo não é capaz de extrair toda a quantidade/qualidade de material desejado existente na encomenda.

Para a ordem O3 e O4, verifica-se que o seu R1 é correspondente a 91% e 89%, respectivamente. Com base nestes dados é possível afirmar que uma das duas, ou mesmo as duas razões, são de facto responsáveis por uma perda da extracção do valor potencial intrínseco. Para este estudo, como foi referido, assumimos que em cada passagem no processo de triagem, todo o material que era considerado resíduo, sem excepção, era detectado pelo sensor óptico de triagem e era retirado da linha de produção. Assim, seria expectável que, se a qualidade doas encomendas fosse real e todo o material que segue na linha de produção fosse apenas material desejado, então após todo o processo de lavagem de que é alvo, resultasse um produto de elevada qualidade. A verdade é que esse fenómeno não se verifica. Apesar de, para fardos de maior qualidade, a probabilidade de produzir material de maior qualidade aumentar, como se verificou no cenário 1, a realidade é que após a primeira passagem para as encomendas O3 e O4, o granulado que resultou dessa primeira operação era de qualidade mediana (Translúcido).

**Nota:** O processo de material reciclado PCR (Post-Consumer Resins) na Empresa A resulta em granulado que pode ser de três tipos:

- Transparente: É o granulado que apresenta maior qualidade dos demais e só é obtível quando as encomendas fornecidas são de elevada qualidade. Este material é naturalmente negociado aos preços mais elevados. Consegue ser obtido com encomendas de qualidade 99/1 e 98/2.

- Translúcido: É um granulado de qualidade mediana que tem na sua composição algumas impurezas que não foram excluídas do processo produtivo. É obtido com encomendas de qualidade que vão desde 98/2 até 90/10. São negociados a preços inferiores que o transparente, mas superiores ao opaco.

- Opaco: É o granulado que apresenta pior qualidade onde a sua cor escura e opaca é indicativa da grande quantidade de impurezas que não foram excluídas. Este material é negociado ao preço mais baixo das três qualidades e obtido com fardos com pureza desde 90/10 até 80/20, valor de pureza mínima aceite pela Empresa A.

Sabendo que foi obtido granulado translúcido na encomenda O3 e O4, e que seria expectável obter granulado de qualidade transparente nas encomendas de qualidade 98/2, adicionando que as instalações e o processo produtivo são constantes, podemos inferir que a variável que provoca a diferença de qualidade entre os dois granulados é a diferença de pureza nas encomendas. Por falta de medidas de controlo de qualidade mais rigorosas, a experiência empírica dos operadores confirma precisamente esta hipótese. Não existe conformidade entre a informação dada pelos fornecedores e a qualidade real das encomendas.

Por outro lado, apenas porque não existe conformidade na qualidade das encomendas, não se pode afirmar que o processo produtivo não tem influência no processo de extracção do valor intrínseco potencial. Sobre essa hipótese, depreende-se que, se existe diferentes tipos de qualidade de granulado e se essas têm que ver com a quantidade de impurezas que o granulado possui, então é porque o processo produtivo não tem capacidade de manter a qualidade do produto final excelente, independentemente da qualidade do fluxo de entrada. Contudo, para que possamos verificar a que grau a ineficiência do processo produtivo influencia a capacidade de extracção do valor potencial intrínseco (CEI) é necessário conhecer com exactidão a composição de determinada encomenda de forma a perspectivar a quantidade e qualidade do granulado resultante.

Relativamente ao indicador CAV, é possível verificar na Tab.9 que a encomenda O4 teve um resultado bastante superior do que a O3, 2,59 e 1,88, respectivamente. Sabendo que os granulados produzidos pelas duas encomendas, nas duas passagens, foi da mesma qualidade e vendido ao mesmo preço, o factor predominante na diferença deste indicador foi o preço de compra das encomendas. Sem surpresas, se o preço de aquisição for superior o retorno expectável, para uma qualidade e preço de venda constante, será sempre inferior.

### 3. Mesmo Fornecedor, Mesma Pureza, Datas Diferentes

O terceiro cenário analisa duas encomendas provenientes do mesmo fornecedor, com a mesma qualidade, mas de datas diferentes. Esta análise permite iniciar um processo de controlo de qualidade para um determinado fornecedor, onde é possível, através de uma análise favorecida pelo tempo, construir uma imagem mais rigorosa do primeiro. Será possível verificar se as encomendas desse fornecedor estão conforme o especificado e também atribuir um valor médio de CEI e de CAV que permite uma negociação mais rigorosa benéfica para ambas as partes.

Tabela 10- Cenário 3: Mesmo Fornecedor, Mesma Pureza, Datas Diferentes

Ordem	Peso (kg)	Qualidade Fardos	Passagem	Granulado Produzido (kg)	CEI	CAV	Max Teórico CEI	R1
O5	27825	99/1	1ª	17673	0,357	1,636	0,557	82%
			2ª	4922	0,439	2,009		
O6	15415	99/1	1ª	10788	0,323	1,478	0,557	94%
			2ª	3493	0,427	1,957		

A encomenda O5 foi processada a 30/09/2021 e a O6 foi processada a 17/09/2021 e ambas têm qualidade de 99/1.

Acompanhando a tendência dos cenários colocados anteriormente, a Tab.10 mostra que as encomendas com maior qualidade, logo desde a primeira passagem na triagem, apresentam valores de CEI mais elevados. É verdade afirmar que os valores de negociação do material também eram diferentes na altura, mas colocando a encomenda O1 aos mesmo valores de negociação das ordens O5 e O6, o seu CEI seria apenas de 0,296. Este facto revela que é verdade que os fardos de maior qualidade apresentam valores de CEI maiores, mas também, que não só os materiais secundários têm cada vez mais interesse nos mercados, como o seu próprio valor se está a ajustar à sua potencialidade real, tendo em conta que o valor dos materiais secundários subiu substancialmente mais entre Julho e Agosto, a ser negociado para o granulado Transparente, a 860€/Ton e 1030€/Ton, respectivamente, representando uma subida de aproximadamente 20%, enquanto que a matéria prima virgem era negociada, no mesmo período a 1850€/kg e 1950€/kg, respectivamente, uma subida de aproximadamente 5%.

É possível verificar que, para este fornecedor, os valores obtidos de CEI são bastante idênticos, bem como os valores do CAV. Mas estes indicadores, em algumas circunstâncias, deixam por revelar um factor importante do processamento fardos. Não é possível verificar se esses valores foram obtidos por menos quantidade a uma maior qualidade ou maior quantidade a menos qualidade. Em ambos os casos os valores dos indicadores podem acabar a ser bastante semelhantes, como foi o caso da O5 e

O6. A encomenda O6, logo na primeira passagem teve um desempenho inferior à O5 em relação à qualidade, tendo produzido material translúcido em vez de transparente. No entanto, em sentido inverso, O6 processou bastante mais material na primeira passagem que a O5, com rendimentos de produção de granulado a 71% para o O6 e 65% para o O5. Este rendimento calcula-se fazendo o rácio entre o granulado produzido e o material expectável existente. Mesmo ficando abaixo em matéria de qualidade estes 6% de diferença em granulado produzido, ajudam os valores de CEI das duas encomendas a aproximarem-se. Contudo, a situação adensa-se na segunda passagem, em que, apesar de o material resultante em ambos os casos ter sido da mesma qualidade (translúcido) o rendimento de extracção de granulado para a O6 foi de 101% e para o O5 de apenas 64%.

Este valor de 101% naturalmente é impossível, uma vez que indica que produziu granulado em maior quantidade que a quantidade de material desejado existente no balístico da primeira passagem. É impossível, mas não é inexplicável, uma vez que só revela que, ao contrário do que este estudo assumiu, para simplificação, existe, de facto, material não desejado a passar na linha de produção, justificando que tenha havido mais granulado a ser produzido do que aquele que teoricamente existia no balístico. Concluindo esta análise, dá-se que, apesar de a O5 ter mantido a sua superioridade em ambos os indicadores, em ambas as passagens, a encomenda O6, foi-se aproximando, apostando na quantidade mais que na qualidade.

Naturalmente, esta realidade terá implicações nos produtos que irão ser produzidos apartir desse granulado e coloca em causa o princípio do *upcycling* da Economia Circular (consultar capítulo 3).

Em notas adicionais a este cenário a experiência empírica e *in situ* dos operadores da unidade de reciclagem PCR, confirma que a O6 era mais impura que a O5.

### *Complementando os cenários*

Em suma, retiram-se conclusões muito oportunas deste estudo, algumas óbvias ao sentido crítico, outras não tanto.

- I. A **qualidade das encomendas** é um factor preponderante para o aumento do valor de CEI e beneficia fortemente os resultados do valor de CAV;
  - A. Apostar em encomendas de maior qualidade aparenta beneficiar os resultados financeiros da empresa e revela grandes vantagens no processo de *upcycling* de material reciclado e beneficia uma Economia Circular que é capaz de providenciar matéria-prima à altura das exigências técnicas e legislativas do séc.XXI.
- II. Existem evidentes **falhas de conformidade e falha de controlo de qualidade** das encomendas que levam a desvios consideráveis dos valores expectáveis para os indicadores;

- A. Para as falhas de conformidade, apresentar folha descritiva da encomenda a preencher pelo fornecedor onde discrimina detalhadamente a composição do seu conteúdo. Um exemplar foi já proposto pela *Plastic Recyclers Europe*, fig.31;

Click or tap here to enter text.  
Recycling Input Characterisation Guidelines: PE Films

Characteristics	Description
Resin	<input type="checkbox"/> PE-LD   <input type="checkbox"/> PE-LLD   <input type="checkbox"/> PE-HD
Product	Click or tap here to enter text.
Origin	Click or tap here to enter text.
Source	Click or tap here to enter text.
Colour	Click or tap here to enter text.
PE-LD content (min %)	Click or tap here to enter text.
PE-LLD content (min %)	Click or tap here to enter text.
PE-HD content (min %)	Click or tap here to enter text.
Impurities	
Impurities content (max %)	Click or tap here to enter text.
Metals (max %)	Click or tap here to enter text.
Paper/Cardboard (max %)	Click or tap here to enter text.
PVC (max %)	Click or tap here to enter text.
PP (max %)	Click or tap here to enter text.
Other plastics (max %)	Click or tap here to enter text.
Moisture (max %)	Click or tap here to enter text.
Prohibited impurities	Hazardous waste, Medical waste, Glass, Minerals, Oxo- or degradable material, Food contamination, Silicone, EPS & PUR.
Transport	Stable and stackable bales
Transport/contract documents	The documents will be provided with the bales
Truck load (min, tonne)	Click or tap here to enter text.
Bale characterisations	
Bale size/weight	Click or tap here to enter text.
Strapping	Click or tap here to enter text.

These recycling input characterisation guiding requirements have been developed by Plastic Recyclers Europe. For more information on recyclates quality and additional guidelines per polymer stream visit [www.plasticrecyclers.eu](http://www.plasticrecyclers.eu)

Click or tap here to enter text.

Supplier information	
Company name	Click or tap here to enter text.
Company address	Click or tap here to enter text.
Additional sorting information	Click or tap here to enter text.
Date	Click or tap here to enter text.

**Glossary**

- **Product:** Stretch film (< 20µm), Shrink film (< 20µm), Pellet covers (20µm < x < 90µm), Thin film (< 90µm), Thick film (> 90µm)
- **Origin:** Commercial & Industrial Waste, Household Waste, Agricultural Waste
- **Source:** Agriculture, Building & Construction, Packaging – Household, Packaging - Transport & Industry, 'Housewares, Leisure, Sports etc', Others (specify).
- **Colour:**
  - Transparent natural share versus coloured: 98/2%, 90/10%, 80/20%, 70/30%, 60/40% and 50/50%, 40/50%, 30/70%, 20/80%, 10/90% & 2/98%.
  - Black or white farm film
- **Impurities content:** the impurities content is the sum of all the unwanted impurities.
- **Prohibited impurities:** the listed prohibited impurities should not be present in the bales.
- **Bale strapping:** indicate the type of strapping used, steel wires are the preferred option

These recycling input characterisation guiding requirements have been developed by Plastic Recyclers Europe. For more information on recyclates quality and additional guidelines per polymer stream visit [www.plasticrecyclers.eu](http://www.plasticrecyclers.eu)

Figura 31- Recycling Input Characterisation Guidelines: PE Films, Plastic Recyclers Europe

- B. Para a falta de controlo de qualidade realizar auditorias internas aleatórias a fardos que dão entrada na unidade de reciclagem e monitorizar o seu desempenho ao longo do tempo;
- III. Os indicadores CEI e CAV **não permitem verificar** se os valores são obtidos pela quantidade em detrimento da qualidade ou da qualidade em detrimento da quantidade;
- A. Formular novo indicador que permite controlar esta dualidade;
- IV. Existe uma **grande quantidade de material desejado a cair no balístico** da primeira passagem (fracção 3D) e que só é captada após a segunda passagem;
- A. Diminuir o ângulo do separador de balístico, fig.30, irá permitir que a gravidade não actue tão fortemente nas fracções de maior calibre e que parte delas passe a ser processada à primeira passagem;
- V. O cálculo dos rácios R2 e R3 não foram calculados, uma vez que à data do estudo, a Empresa A aguardava uma balança industrial que não foi entregue em tempo útil. No entanto, a metodologia está bem determinada, caso haja interesse da Empresa A para uma posterior utilização dos rácios.

## 5.2 Sensu latu

Os indicadores do *sensu latu* estão inseridos na intersecção entre o pilar ambiental com o pilar económico. Para avaliação dos indicadores OEE e Tx de Desperdício, foram utilizados os dados de dois sectores da empresa, IMP (Impressão) e SeR (Sacos em Rolo). Estes foram utilizados como sector modelo, podendo posteriormente ser replicado para os restantes sectores da empresa, após validação dos dados obtidos. A descrição que se sucede é realizada por sector, que se subdivide nos dois indicadores anteriormente referidos.

O presente estudo considerou os dados referentes aos primeiros oito meses de 2021, entre Janeiro e Agosto, disponibilizados pela Empresa A.

### 5.2.1 O sector IMP – Impressão

O processo de obtenção de ambos indicadores antevê um trabalho rigoroso de organização de dados relativo ao processo produtivo do sector. Nesses dados, reside todo o racional para a obtenção do valor final, assim, mais do que comentar o resultado obtido, explica-se de forma detalhada o processo de obtenção e manuseamento dos dados. No decorrer dessa explicação irá ser utilizada uma máquina modelo, de entre as quatro existentes, de forma a ilustrar as várias etapas do processo. Este processo de organização de dados serve de alicerce a ambos os indicadores, sendo uma etapa comum dos trabalhos. Esta linha de trabalho sofre uma bifurcação no momento do cálculo e interpretação dos dados.

O processo inicia-se com os operadores que estão na unidade fabril. Estes, durante o seu turno, são incumbidos de irem registando algumas informações, previamente seleccionadas, que vão acontecendo em fábrica. Com os dados obtidos pelos operadores, dia após dia, cria-se um registo de produção que permite monitorizar determinado sector. Naturalmente, após oito meses de trabalho, a informação é extensa e complexa e fica compilada em um documento de excel que serviu de base às fases seguintes.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		Nº Operador		EXTRUSÃO				IMPRESSÃO								
Nº Trabal	Cód. Máqu	Início Bobin	Fim Bobin	Nº Trabalho Extrus	CI Bobine Extrus	Nº Bobine Extrus	Peso (Kg.) Extrus	Nº Bobine Impre	Data Início	Data Fim / Paragem	Tempo Bobine	Tempo (formato decimal)	Tempo Bobine (min)	Mês	Tempo Planeado Produção	Kgs. Impres
R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD				
Desperdício																
Desp. Kg	Causa Desperdício	Paragem	Observação	Turno	Trabalho Extrus	CI BOBINE EXT	CI BOBINE IMF	Velocidad e (m/n)	Distância Percorri	Ditância Percorrida Ideal	Velocidad e (m/n)	Velocidad e Ide				

Figura 32- Colunas da folha de produção IMP

A fig.32 compreende as várias colunas de informação que estão associadas ao processo produtivo. As colunas com preenchimento verde ou branco são da responsabilidade dos operadores e devem ser preenchidas com o maior rigor possível. Por outro lado, as colunas com preenchimento amarelo foram posteriormente criadas, por serem necessárias para os cálculos posteriores.



A secção IMP é composta por quatro máquinas em paralelo que fazem a mesma operação. Para o exemplo que se segue, iremos analisar a máquina IM-08, que representa o mesmo processo efectuado para as restantes máquinas.

### *Cálculo do indicador OEE*

Como referido anteriormente, o cálculo deste indicador resulta do produto entre três factores, **Desempenho, Disponibilidade e Qualidade**. Nesse sentido, a obtenção destes valores não é uniforme e adapta-se a cada uma das situações a que se aplica.

Para o primeiro factor, **Desempenho**, é pretendido comparar o ciclo de produção real em relação ao ciclo de produção ideal, sendo o ciclo ideal, estar a produzir com velocidade máxima o máximo de unidade que é possível num dado intervalo de tempo. Neste caso, visto que a máquina funciona com bobines a uma determinada velocidade e não por peças unitárias, foi decidido utilizar para o **Desempenho**, o rácio as colunas “Distância Percorrida” e “Distância Percorrida Ideal”, comparando a distância hipotética percorrida entre uma velocidade ideal para a máquina e a velocidade real. Mas mesmo essas velocidades não são constantes e variam de acordo com vários factores, como a largura da bobine, material da bobine e tipo de produto a ser produzido. Assim, a velocidade real e a velocidade ideal dependem, a qualquer momento, da máquina em estudo (coluna B) e do código do produto (coluna Y)

Em primeiro lugar, após isolar todos os dados para a Máquina IM-08, iniciou-se a obtenção dos valores “Distância Percorrida Ideal”. Para tal, foi necessário a “Velocidade Ideal” (coluna AD) e o tempo de produção da bobine (coluna N). Os valores da “Velocidade Ideal” são obtidos através de um outro documento formulado que contempla as velocidades ideais para um determinado código de produto, numa determinada máquina. Tab.11.

*Tabela 11- Excerto da folha de velocidades ideais*

<b>Cód. Máquin</b> ▼	<b>CI BOBINE IMP</b> ▼↑	<b>Vel.Ide</b> ▼
IM-08	101253	160
IM-08	140072	150
IM-08	190069	130
IM-08	190070	130
IM-08	190192	150
IM-08	300226	160
IM-08	300236	170
IM-08	300267	170

São realizados mais de 107 códigos de produto, “CI Bobine IMP”, e cada um tem a sua própria velocidade máxima, podendo, muitas vezes, ter valores similares. A coluna (AD) devolve todas as velocidades ideais de todos os códigos de produto (coluna Y) que encontrou para a máquina IM\_08, entre o período de Janeiro a Agosto. Após a obtenção das velocidades ideais, multiplica-se pelo tempo

de produção de bobine (coluna N) para esse respectivo código e obtém-se a “Distância Percorrida Ideal”.

Para o cálculo da “Distância Percorrida” o processo foi semelhante, mas foram utilizadas as velocidades reais. Para tal foi necessário, a coluna da “Velocidade” (AC), fig.32. Inicialmente, a coluna das velocidades preenchida pelos operadores é a coluna Z, no entanto, existiam muitos erros de introdução e, demasiadas vezes, não existia qualquer referência em relação à velocidade real. Criou-se assim uma nova coluna “Velocidade (m/min)” (coluna AC) que tem a condição de retornar a velocidade registada pelo colaborador, caso exista, ou em caso contrário, considerar a velocidade ideal para esse produto, nessa máquina.

Tabela 12- Excerto das colunas de Z a AD da folha de produção.

Velocidade (m/min)	Distância Percorrida	Distância Percorrida Ideal	Velocidade (m/min)	Velocidade Ideal
Capacidade 32540,8333	32540,8333	32540,8333	170	170
Capacidade 17280,5	17280,5	17280,5	170	170
Capacidade 14852,3333	14852,3333	14852,3333	170	170
Capacidade 15708	15708	15708	170	170
Capacidade 16022,5	16022,5	16022,5	170	170
Capacidade 16878,1667	16878,1667	16878,1667	170	170
Capacidade 16977,3333	16977,3333	16977,3333	170	170
Capacidade 17651,6667	17651,6667	17651,6667	170	170

A Tab.12 dá um exemplo de um trabalho que não tinha velocidade real registada pelo operador, indicada como “Capacidade” e assumindo a coluna “Velocidade (m/min)” (coluna AC) o mesmo valor que a coluna da “Velocidade Ideal”. Após este passo de obtenção das velocidades reais, multiplica-se pelo mesmo valor da coluna N e obtém-se o valor da “Distância Percorrida”.

Finalmente, após ter os dados da “Distância Percorrida” e da “Distância Percorrida Ideal” é possível organizá-los por respectivo mês e assim obter o valor *Desempenho* mensal, parte integrante do OEE.

O segundo factor do OEE, **Disponibilidade**, procura conhecer o tempo de funcionamento efectivo da máquina em função do tempo que deveria ter operado. Para esse cálculo foram utilizadas as colunas M e P da fig.32.

A coluna M (Tempo (formato decimal)), devolve o tempo de produção de determinada bobine em formato decimal (30min= 0,5). Fazendo o somatório de todas as entradas da coluna M para dado mês, para a máquina IM-08, obtemos o valor mensal do tempo de produção efectiva.

Tabela 13- Excerto da folha de produção entre a coluna M e P

Tempo (formato decimal)	Tempo Bobine (min)	Mês	Tempo Planeado Produção
1,22	73,28	1	544
1,14	68,32	1	
0,90	53,72	1	
1,26	75,78	1	

A coluna P, fig.32, devolve o “Tempo Planeado Produção” da máquina IM-08 para o mês de Janeiro. A obtenção dessa coluna requer a utilização de um novo documento onde constam todas as operações que requerem paragem da máquina e que devem ser consideradas.

Um novo documento começa por calcular o tempo total de funcionamento das operações, tendo em conta os dias de operação laboral. Neste sector de IMP, as operações funcionam habitualmente 5 dias por semana, 24h por dia. No entanto, turnos extra fora dos dias úteis podem ser considerados, Tab.14.

Tabela 14- Tempo total e Tempo planeado de produção para a máquina IM-08, no ano de 2021

	Mês	Dias	Turnos	Turnos Extra	Tempo total (h)	Almoço+Pausas (h)	Manutenção	Outros (Limpezas, etc)	Tempo Planeado Produção
IM-08	1	20	60	8	544		0		544
	2	20	60	3	504		0		504
	3	23	69	6	600		2		598
	4	22	66	3	552		0		552
	5	21	63	2	520		0		520
	6	22	66	7	584		0		584
	7	22	66	0	528		0		528
	8	23	69		552		0		552
	9		0		0		0		0
	10		0		0		0		0
	11		0		0		0		0
	12		0		0		0		0

O somatório dos dias de trabalho com os turnos extra, devolve o valor do Tempo Total(h), valor que ilustra o número de horas que a máquina poderia estar a funcionar caso não existisse qualquer tipo de paragem. Contudo, as paragens existem e são necessárias para manter o bom funcionamento das operações. Assim, ao tempo total, subtrai-se tudo o que é relativo a pausas de almoço, manutenções, ou outros motivos indiferenciados. No final, o valor que se obtém, é o tempo expectável que a máquina irá funcionar durante todo um mês, denominado Tempo Planeado de Produção. Neste sector em concreto, o tempo para almoço tem valor nulo, uma vez que o almoço dos colaboradores não provoca a interrupção do funcionamento da máquina, não sendo uma paragem na produção.

Após o cálculo do Tempo Planeado de Produção e o cálculo do Tempo de Produção Efectiva proveniente do somatório do tempo de produção das bobines, é possível obter o rácio da *Disponibilidade* para a máquina IM-08, num dado mês. Este representa o segundo factor, de três, para o cálculo do OEE.

O último factor do cálculo do OEE é o mais fácil de calcular, a **Qualidade**. As colunas necessárias para esta operação são a H e R da fig.32. Como foi referido, este factor compara o fluxo de saída de material que cumpre os requisitos mínimos de qualidade, saídos do sector, com o fluxo total de entrada. Obtendo ambas as colunas preenchidas, é possível determinar o factor *Qualidade* através da fórmula apresentada na equação 14 (pág 47).

### Taxa de Desperdício

A Taxa de desperdício utiliza as mesmas colunas de cálculo que o factor *Qualidade* do OEE, coluna H e R da fig.32. A única diferença entre os dois indicadores é a forma como se calcula e a sua

funcionalidade. Se a *Qualidade* serve como factor para um parâmetro superior como o OEE, a Taxa de Desperdício é um único indicador, selecionado para comunicar com maior transparência a produção de resíduos.

### *Análise dos Resultados*

Após a organização dos dados explicados nas secções anteriores e a sua introdução na folha de produção referida na fig.32, é possível iniciar o processo de análise.

A definição dos valores *target* para o sector IMP têm por base os valores obtidos no ano anterior. Para manter a certificação de melhoria contínua é necessário que os objectivos sejam sucessivamente mais ambiciosos e existam esforços no sentido de os alcançar. Monitorizar as operações de forma rigorosa, torna-se essencial.

### **Resultados do OEE para o sector IMP**

O produto dos factores *Desempenho*, *Disponibilidade* e *Qualidade* forneceu os valores de OEE para o sector IMP. O *Target* estabelecido para os valores acumulados do ano de 2021 foi de 75,3%. Em primeiro lugar, é visível na fig.33 que a prestação do sector IMP ao longo do ano de 2021 tem estado bastante próximo objectivo de 75,3%. Como referência, os valores de OEE estão divididos 40%Baixo e normalmente associado a empresas em início de actividade, 60%Típico valor que é regularmente encontrado na indústria manufactura, 85%Classe Mundial é um valor que requer uma estrutura e organização implementada e muitas vezes um objectivo a longo prazo para as empresas e finalmente, 100%Perfeito é o valor quase utópico onde a empresa operou em todo o tempo disponível na máxima velocidade e com qualidade máxima.

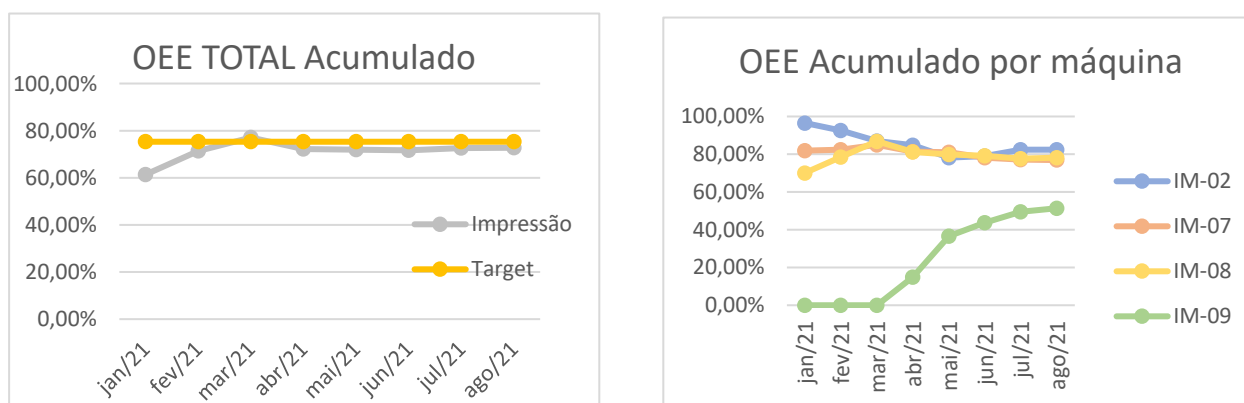


Figura 33- OEE Total Acumulado e OEE Acumulado por máquina IMP

As prestações inferiores dos primeiros meses do ano justificam-se com a baixa prestação do OEE para a máquina IM-09. Esta máquina não esteve em funcionamento nos primeiros três meses do ano, no

entanto existiam algumas entradas na folha de produção de pequenas operações com a máquina. Ao existir, o factor *Disponibilidade* dessa máquina foi naturalmente muito pequeno, que influenciou o OEE da máquina, afectando o OEE TOTAL Acumulado. Adicionalmente, é constatável que o maior restritor para alcançar as metas estabelecidas é a máquina IM-09 e que, ao melhorar o seu processo produtivo, o OEE Total pode aproximar-se dos 80%.

O facto de que durante os oito meses de estudo os resultados totais e das máquinas foram sempre bastante consistentes e próximos dos mesmos valores mostra que a estrutura da empresa já é considerável e os imprevistos que surgem na produção têm impacto marginal nos resultados mensais, à excepção claro, da máquina IM-09.

### Resultados da Taxa de Desperdício para o sector IMP

O sector da impressão envolve, por concepção, uma pequena quantidade de desperdício pela razão que neste sector, apenas o aspecto estético do material é alterado não sendo necessário recorrer a qualquer mecanismo de alteração mecânica do material. Neste contexto, o target definido pela Empresa A para o sector *Impressão* é de 0,41% para o valor acumulado desde o início do ano 2021, fig.34.

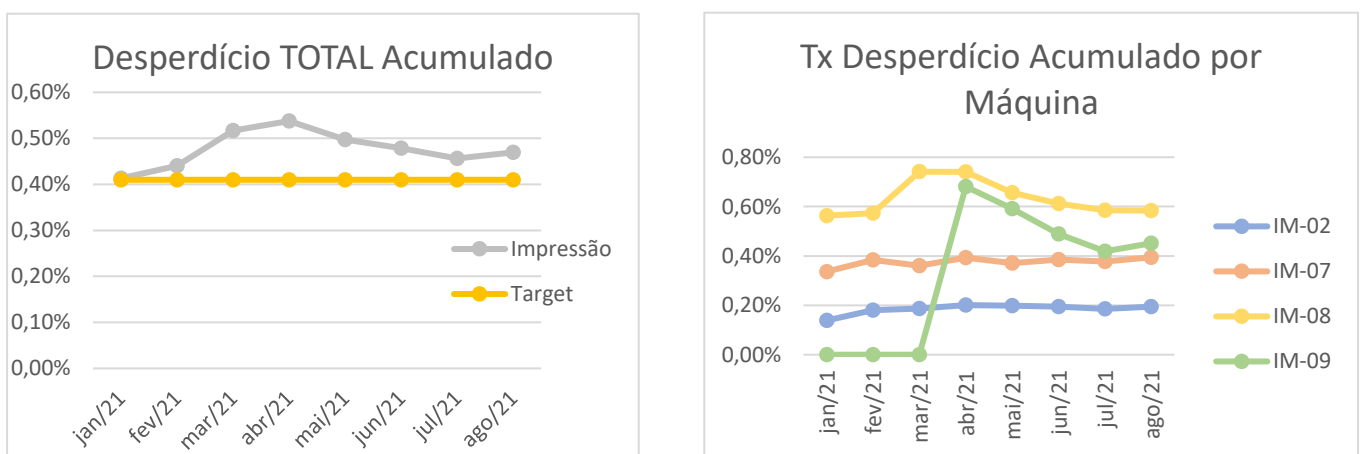


Figura 34- Desperdício Total Acumulado e Desperdício Acumulado por máquina IMP

É possível verificar da fig.34 que, desde o início do ano, este sector tem tido dificuldade em atingir o seu *target* por escassos centésimos percentuais. Por outro lado, sabendo que os dados disponibilizados são de valores acumulados, retira-se que centésimos percentuais no final de um ano de actividade reflecte-se em toneladas de material desperdiçado, acima do previsto. Tem não só impacto nos custos, desnecessários para a parte da empresa, como nas externalidades para o ambiente que advém da sua inadvertida utilização. Os desperdícios estão maioritariamente associados aos momentos de mudança de turnos ou a afinações esporádicas que a máquina necessite.

A fig.34 permite destacar quais são as máquinas com melhores e piores prestações para o sector da *Impressão*. Destacam-se positivamente as máquinas IM-07 e IM-02, com valores acumulados inferiores ao Target, e negativamente as máquinas IM-08 e IM-09. Esta última máquina IM-09 não funcionou nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março, razão pela qual o valor para estes meses é de 0%. Adicionalmente, a justificação para um pico acentuado após a paragem de três meses, está associado a afinações, que representou 33% do desperdício, expectável após uma paragem tão prolongada.

## 5.2.2 O setor SeR – Sacos em Rolo

O método de trabalho para este sector, no sentido de obter os dois indicadores em análise, seguiu com bastante semelhança, o método utilizado no sector IMP. Com base na folha de produção obtida preenchida pelos operadores foi possível organizar os dados num formato adequado. O produto de entrada para este sector são as bobines, mas ao contrário do sector anterior em que o formato do produto de saída ser uma bobine, neste caso, o formato do produto de saída está embalado e pronto a ser enviado para grandes superfícies e ser vendido ao consumidor. O sector SeR é substancialmente maior que o sector IMP e é composto por 20 máquinas:

SeR:

- Auto-Serviço
  - 8 máquinas
- Lixo-Atilho
  - 9 máquinas
- Fecho-Fácil
  - 3 máquinas

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
DATA	Mês	Nº trabalho	Nº Encomenda	Código produto	Qt. Unidade Pedic	Código Maquina	Sector	Peso das Bobines (KG)	Qt. Produzida	Qt Produzida Ideal	Velocidade Ideal (m/mir)	Pistas	Comprimento rolo (m)	Lote	Tempo Produção Real (hora)
Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
Tempo Planeado Produção (h)	Turno	Nº Funcionário	Desperdício total	Desperdicio Objectivo	s	Desperdicio (KG)					Manutenção	Testes/Ensaio	Aparas / Alças / Embalagem	Cintas	Observações
						Afinação	Produção	Impressão	Bobine						

Figura 35- Colunas folha de produção SeR

### Cálculo do OEE no sector SeR

A maior diferença no método de trabalho entre os dois sectores reside na obtenção do factor **Desempenho**. No sector SeR, a opção de cálculo do Desempenho fez-se ao comparar o número de unidades produzidas real com o número ideal de unidades produzidas caso a máquina operasse à velocidade máxima no tempo em que operou. As colunas utilizadas foram J,K,L,M,N e P, da fig.35. A coluna J “Qty Produzida” é inserida directamente pelos operadores e não requer qualquer processo de cálculo, no entanto, a coluna K “Qty Produzida Ideal” requer a interacção das colunas L,M,N e P, fig.36.

J	K	L	M	N	O	P
Qty Produzida	Qty Produzida Ideal	Velocidade Ideal (m/min)	Pistas	Comprimento rolo (m)	Lote	Tempo Produção Real (hora)
1 420		100	1	12,4	101041	5,00

Figura 36- Cálculo de Qty Produzida Ideal

A informação das colunas preenchidas a branco não é inserida pelos operadores e tem que ser obtida através de uma outra base de dados onde, tal como na impressão, indica para cada código de produto e para cada máquina, qual a velocidade máxima que esse produto consegue ser produzido. Adicionalmente, essa mesma base de dados dá informação sobre o número de pistas que a máquina tem, uma ou duas pistas, lado a lado a produzir, e o comprimento do rolo, sendo esta última a medida referente a um produto acabado. A fase final é comparar o valor que consta na coluna J com o valor que consta na coluna K. Para o exemplo expresso na fig.35, a “Qty Produzida” é 1420 rolos e a “Qty Produzida Ideal” é 2419 rolos. O somatório destes valores por máquina e por mês permite obter os dados para o OEE.

A **Disponibilidade** é realizada através do mesmo processo do sector de IMP, comparando a coluna P com a coluna Q, onde a coluna Q é obtida através de uma base de dados onde está explícito o tempo planeado que certa máquina iria operar e a coluna P é inserida directamente pelo operador.

Finalmente, a **Qualidade** tem em conta o somatório das colunas relativas ao desperdício. Contudo, no que diz respeito ao que é considerado desperdício, existem várias interpretações e linhas de pensamento na indústria. Alguns indicam que se algum processo produtivo obrigar a que se produza resíduo de forma a obter o formato do produto final, então esse resíduo não deve constar no cálculo do desperdício pois não é eliminável, e a solução seria não fabricar esse produto de todo. Outros, os mais objectivistas, referem que se existiu resíduo, independentemente se é incontornável ou não, então esse deve constar no segmento desperdício. A Empresa A opta pela primeira visão.

Assim, para o cálculo *Qualidade* do sector SeR, as colunas de desperdício consideradas foram as colunas de W a AA e as restantes (AB, AC e AD) são consideradas inevitáveis e portanto excluídas. A

coluna T “Desperdício Total” é aquela que devolve as de colunas W a AA e é essa que entra para o cálculo do OEE.

### Taxa de Desperdício

A Taxa de desperdício utiliza as mesmas colunas de cálculo que o factor *Qualidade* do OEE, coluna I e T da fig.35. A única diferença entre os dois indicadores é a forma como se calcula e a sua funcionalidade. Se a *Qualidade* serve como factor para um parâmetro superior como o OEE, a Taxa de Desperdício é um único indicador, selecionado para comunicar com maior transparência a produção de resíduos.

### Análise dos Resultados

#### Resultados do OEE para o sector SeR

Os valores da fig.37, revelam que, em primeiro lugar, todos os sub-sectoros têm o mesmo valor de *target* de 72% e por consequência, todo o sector SeR tem também o *target* de 72%. Comparativamente com o sector IMP é observável que o *target* de 72% para o SeR é inferior ao *target* de 75%, anteriormente definido, verificando-se que, entre sectores, o desempenho no indicador OEE está mais desenvolvido no sector IMP.

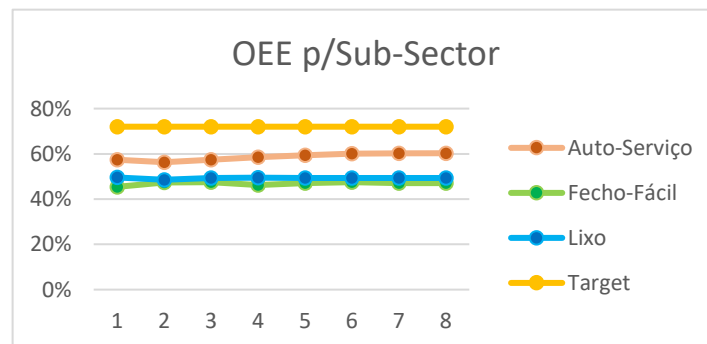


Figura 37- OEE por Sub-Sector SeR

Em relação ao sector SeR, nenhum dos sub-sectoros cumpre o target definido de 72%, embora no caso do Auto-Serviço exista uma ligeira melhoria acumulado ao longo dos meses a tender para os 60%, e que nos dois restantes, os valores, apesar de não aumentarem mantém uma consistência perto dos 50%. Recorda-se que o valor de OEE considerado típico na Indústria é de 60% e portanto, existe espaço para uma melhoria significativa no processo do sector SeR.

#### Resultados da Taxa de Desperdício para o sector SeR

Paralelamente ao calculado no OEE para este sector, os resultados obtidos são referentes aos subsectoros Lixo-Atilho, Auto-Serviço e Fecho-Fácil. Para calcular os resultados de cada um dos



subsectores, foi necessário ter em consideração as vinte máquinas que os compõem, nomeadamente, oito máquinas para o Auto-Serviço, nove máquinas para o Lixo-Atilho e três máquinas para o Fecho-

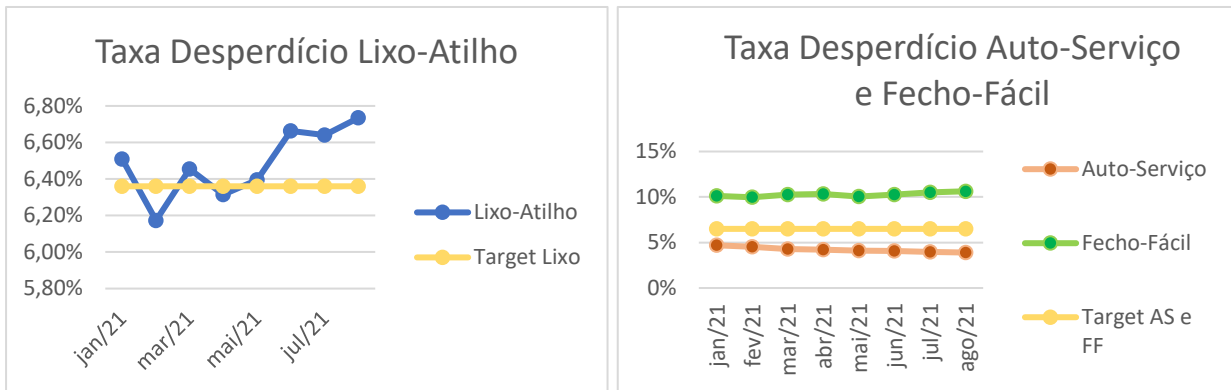


Figura 38- Taxa de Desperdício Sub-Sectores SeR

Fácil.

A Análise dos gráficos, fig.38, permite concluir que o sub-sector Auto-Serviço é o único que apresenta resultados acumulados consistentes abaixo to *target* estabelecido de 6,5%. Por outro lado, o sub-sector Fecho-Fácil apresenta taxas de desperdício acumuladas constantemente acima do limite imposto pela empresa. No caso do Lixo-Atilho, os resultados estão bastante próximos do *target* delineado de 6,36% oscilando num intervalo que não ultrapassa os [6,15%;6,75%]. As razões pelo qual os valores excedem ou cumprem os objectivos seria uma análise posterior que não seria possível sem este primeiro passo, a obtenção de dados rigorosos e relevantes.

No método utilizado pela Empresa A, que excluí os resíduos não elimináveis, são excluídos aproximadamente 3000kg de material acumulado, do cálculo do desperdício, até ao final de Julho, correspondente a um potencial alteração de 0,28%.



## 6. Conclusões

Consciente das mudanças que são necessárias para atingir uma actividade económica enquadrada nas exigências de sustentabilidade da nova geração, mas sabendo que o plástico continuará a fazer parte dessa nova realidade, com todas as suas vantagens, a Empresa A apresenta-se como um elemento activo na indústria transformadora de plástico, que corresponde a 80% da sua facturação anual.

Neste contexto, a Empresa A quer integrar nas suas operações um novo sistema de “Economia Circular” que reduza os seus impactos negativos e que colabore na divulgação desta nova imagem que a Empresa quer transmitir junto dos seus *stakeholders*.

Assim, foi lançado desafio de formular uma colaboração conjunta entre a Empresa A e a academia, para formular uma métrica, composto por diversos KPI (*Key Performance Indicators*) das várias áreas de interesse (Económico, Ambiental, Social, Economia Circular) que permita uma monitorização e melhoria contínua dos processos industriais utilizados internamente.

Para tal, por entre as inúmeras interpretações existentes na literatura sobre Economia Circular (CE), foram explorados os pontos em comum entre as variadas interpretações e definiu-se o que seria CE para o contexto da presente dissertação. Essa definição inclui o *sensu stricto* e *sensu lato*.

A análise da literatura levou à formulação de uma métrica composta por 9 indicadores, dos quais 7 correspondem ao *sensu stricto* e 2 correspondem ao *sensu lato*. Os sete indicadores referentes ao *sensu stricto* estão divididos em dois grupos distintos, onde o primeiro analisa as várias fases do ciclo de vida do produto e o segundo foca-se exclusivamente na fase de fim de vida do produto, nomeadamente, associado ao processo de reciclagem, onde a Empresa A investiu recentemente.

Os indicadores de fase de vida do produto, composto por %TEC, %TSC, ReceitaCTI e RácioCTI demonstram com bastante efectividade a prestação do objecto de estudo dentro da circulação de materiais. Podem ser aplicados a produtos, sectores ou a toda a empresa, como foi o caso do %TEC onde se obtiveram dados cumulativos de 45,3% para os primeiros quatro meses de 2021. Por outro lado, alguma da informação para o cálculo destes indicadores foi obtida através de aproximações. A falta de partilha de informação entre fornecedores/clientes, compromete o cálculo destes indicadores e mostra o quanto interdependente é o esforço para a transição de Economia Circular. No entanto, a métrica provou ser uma ferramenta útil e compreensível de economia circular no ciclo de vida do produto.

Os indicadores da fase de fim de vida do produto, em particular, à unidade de reciclagem, tiveram resultados bastante reveladores. Sendo um pavilhão inaugurado em setembro de 2020, existiam poucas métricas em toda a generalidade do processo. Os indicadores CEI, CAV e RRs devolveram resultados que promovem a extracção de maior valor potencial intrínseco dos fardos de reciclagem, aumentam o retorno de investimento da operação e aceleram o cumprimento de compromissos

sustentáveis internos e com parceiros. Revelou também algumas ineficiências do processo produtivo que foram acompanhadas de soluções que merecem ser testadas e o seu resultado avaliado.

Os indicadores do sensu latu, OEE e Taxa de Desperdício, permitiram verificar que os sectores estudados tinham valores de OEE entre 50% e 80% revelando que ainda existe motivo de melhoria no que diz respeito à produtividade da Empresa A taxa de desperdício indicou valores entre os 0% e os 7%, sendo que cada um dos sectores devolveu valores dispares, associado à própria natureza do sector. A vertente ambiental é endereçada pela componente Qualidade do OEE e pelo indicador taxa de desperdício. Os valores obtidos aproximam-se dos objectivos traçados pela empresa para o ano 2021.

A elaboração desta dissertação permitiu criar um conjunto de indicadores que revelaram ser altamente instrutivos na prestação da Empresa A no âmbito da Economia Circular. Permitiu, como se propunha, formular uma ferramenta que permitisse a empresa monitorizar prestações instantâneas e cumulativas em várias vertentes e que desse início a uma cultura interna de estabelecimento de metas sustentáveis a atingir. Por outro lado, no desenvolvimento para o resultado final, foi possível elucidar vários membros da Empresa A para o que é a temática da Economia Circular, na sua complexidade, mas também na sua extrema atractividade, que se estende ao ambiente, à economia da empresa e à preocupação social interna, mas também externa. O *framework* formulado promove a inserção de novos indicadores que se vão revelando adequados ao funcionamento da empresa e que merecem ser atentamente controlados. O trabalho desenvolvido traça o *benchmark* para possíveis indicadores que se venham a introduzir na empresa, como também, para a avaliação de empresas similares, que actuem na mesma indústria. À data da conclusão desta dissertação, a métrica formulada fora aprovada pela administração da Empresa A e tem sido apresentada em reuniões com parceiros cruciais à empresa



## Bibliografia

- [1] A. Gawel, "Circular Economy and Material Value Chains," *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/projects/circular-economy>.
- [2] M. Braungart and W. McDonough, *Cradle to Cradle*. Vintage 2009, 2008.
- [3] J. David and G. Whittam, "Middlesex University Research Repository," 2008.
- [4] J. Rockström *et al.*, "A safe operation space for humanity," *Nature*, vol. 461, no. September, pp. 472–475, 2009.
- [5] A. H. Akram-Lodhi, "Poor economics: a radical rethinking of the way to fight global poverty," *The Journal of Peasant Studies*, vol. 41, no. 3. pp. 426–429, 2014, doi: 10.1080/03066150.2014.912432.
- [6] EMF, "Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1," 2013.
- [7] D. Reike, W. J. V Vermeulen, and S. Witjes, "Resources , Conservation & Recycling The circular economy : New or Refurbished as CE 3 . 0 ? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 135, no. February 2017, pp. 246–264, 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.08.027.
- [8] F. Blomsma and G. Brennan, "The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity," *J. Ind. Ecol.*, vol. 21, no. 3, pp. 603–614, 2017, doi: 10.1111/jiec.12603.
- [9] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, and E. J. Hultink, "The Circular Economy – A new sustainability paradigm?," *J. Clean. Prod.*, vol. 143, pp. 757–768, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048.
- [10] J. Kirchherr, D. Reike, and M. Hekkert, "Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 127, no. April, pp. 221–232, 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- [11] J. P. Schögl, L. Stumpf, and R. J. Baumgartner, "The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 163, no. July, p. 105073, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105073.
- [12] M. Sarja, T. Onkila, and M. Mäkelä, "A systematic literature review of the transition to the circular economy in business organizations: Obstacles, catalysts and ambivalences," *J. Clean. Prod.*, vol. 286, p. 125492, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125492.
- [13] Comissão Europeia, "Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular," *Off. J.*

- Eur. Union*, pp. 1–24, 2015, [Online]. Available: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF).
- [14] COMISSÃO EUROPEIA, “Um novo Plano de Ação para a Economia Circular - Para uma Europa mais limpa e competitiva,” vol. 7, no. 1, pp. 39–44, 2020, [Online]. Available: <https://ci.nii.ac.jp/naid/110004000229/>.
- [15] Comissão das Comunidades Europeias, “Anexo do EU Green Deal para CE,” 2020.
- [16] P. Johnston, M. Everard, D. Santillo, and K. H. Robèrt, “Reclaiming the definition of sustainability,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 14, no. 1, pp. 60–66, 2007, doi: 10.1065/espr2007.01.375.
- [17] S. Bouteligier, K. van den Brande, and S. Happaerts, “Keeping the sustainable development flame alive,” 2011. <https://www.thebrokeronline.eu/keeping-the-sustainable-development-flame-alive-d78/>.
- [18] ISO 15392:2008, “Sustainability in building construction — General principles,” 2008.
- [19] A. J. McMichael, C. D. Butler, and C. Folke, “New Visions for Addressing Sustainability,” *New Visions Addressing Sustain.*, vol. 302, no. 5652, pp. 1919–1920, 2003, doi: 10.1126/science.1090001.
- [20] B. R. Keeble, “The Brundtland Report: ‘Our Common Future,’” *Med. War*, vol. 4, no. 1, pp. 17–25, 1988, doi: 10.1080/07488008808408783.
- [21] N. Millar, E. McLaughlin, and T. Börger, “The Circular Economy: Swings and Roundabouts?,” *Ecol. Econ.*, vol. 158, no. December 2018, pp. 11–19, 2019, doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.12.012.
- [22] K. Brown, “Tears of the crocodile: from Rio to reality in the developing world,” *Int. Aff.*, vol. 70, no. 3, pp. 559–560, Jul. 1994, doi: 10.2307/2623759.
- [23] A. Murray, K. Skene, and K. Haynes, “The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context,” *J. Bus. Ethics*, vol. 140, no. 3, pp. 369–380, 2017, doi: 10.1007/s10551-015-2693-2.
- [24] B. Frey and A. Stutzer, “Happiness and Economics: How the Economy and Institutions Affect Human Well-Being,” *J. Institutional Theor. Econ. Fur Die Gesamte Staatswiss. - J INST THEOR ECON*, vol. 159, pp. 435–436, Mar. 2003, doi: 10.1628/0932456032974862.
- [25] P. Ghisellini, C. Cialani, and S. Ulgiati, “A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems,” *J. Clean. Prod.*, vol. 114, pp. 11–32, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- [26] G. Moraga *et al.*, “Circular economy indicators: What do they measure?,” *Resour. Conserv.*

- Recycl.*, vol. 146, no. March, pp. 452–461, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045.
- [27] J. Korhonen, C. Nuur, A. Feldmann, and S. E. Birkie, “Circular economy as an essentially contested concept,” *J. Clean. Prod.*, vol. 175, pp. 544–552, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>.
- [28] Z. Yuan, J. Bi, and Y. Moriguchi, “The Circular Economy: A New Development Strategy in China,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 10, no. 1-2, pp. 4–8, Jan. 2006, doi: <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>.
- [29] M. Lieder and A. Rashid, “Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 115, pp. 36–51, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>.
- [30] N. M. P. Bocken, I. de Pauw, C. Bakker, and B. van der Grinten, “Product design and business model strategies for a circular economy,” *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 33, no. 5, pp. 308–320, Jul. 2016, doi: 10.1080/21681015.2016.1172124.
- [31] Direção Geral do Consumidor, “Europa: novas regras prolongam a vida útil dos eletrodomésticos.” <https://www.consumidor.gov.pt/comunicacao/noticias/europa-novas-regras-prolongam-a-vida-util-dos-eletrrodomesticos-.aspx>.
- [32] K. Raworth, *Economia Donut*, 1 edition. Temas e Debates - Círculo de Leitores, 2018.
- [33] A. M. King, S. C. Burgess, W. Ijomah, and C. A. McMahon, “Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle?,” *Sustain. Dev.*, vol. 14, no. 4, pp. 257–267, Oct. 2006, doi: <https://doi.org/10.1002/sd.271>.
- [34] X.-M. Feng, Z. Zhang, Y.-Z. Li, N.-S. Bian, and Z.-L. Wang, “Complexes of N,N',N"-tris(2-hydroxypropyl)-1,4,7-triazacyclononane (L): Structures of [CuL](ClO<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>), [CoL](ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, [ZnL](ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> and the catalytic activity of [MnL](ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> towards olefin epoxidation with hydrogen peroxide,” *Transit. Met. Chem.*, vol. 32, no. 1, pp. 95–101, 2007, doi: 10.1007/s11243-006-0137-7.
- [35] S. Sakai *et al.*, “International comparative study of 3R and waste management policy developments,” *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 13, no. 2, pp. 86–102, 2011, doi: 10.1007/s10163-011-0009-x.
- [36] B. Su, A. Heshmati, Y. Geng, and X. Yu, “A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation,” *J. Clean. Prod.*, vol. 42, pp. 215–227, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>.
- [37] S. Sihvonen and T. Ritola, “Conceptualizing ReX for Aggregating End-of-life Strategies in Product Development,” *Procedia CIRP*, vol. 29, pp. 639–644, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.026>.
- [38] I. S. Jawahir and R. Bradley, “Technological Elements of Circular Economy and the Principles of



- 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing,” *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 103–108, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.067>.
- [39] N. Van Buren, M. Demmers, R. Van der Heijden, and F. Witlox, “Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments,” *Sustainability*, vol. 8, no. 7. 2016, doi: [10.3390/su8070647](https://doi.org/10.3390/su8070647).
- [40] J. Potting, M. Hekkert, E. Worrell, and A. Hanemaaijer, “Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain,” 2017.
- [41] D. Reike, W. J. V Vermeulen, and S. Witjes, “The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 135, pp. 246–264, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>.
- [42] J. M. Allwood, M. F. Ashby, T. G. Gutowski, and E. Worrell, “Material efficiency: A white paper,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 55, no. 3, pp. 362–381, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.002>.
- [43] I. R. Black and H. Cherrier, “Anti-consumption as part of living a sustainable lifestyle: daily practices, contextual motivations and subjective values,” *J. Consum. Behav.*, vol. 9, no. 6, pp. 437–453, Nov. 2010, doi: <https://doi.org/10.1002/cb.337>.
- [44] A. Hedlund-de Witt, “Exploring worldviews and their relationships to sustainable lifestyles: Towards a new conceptual and methodological approach,” *Ecol. Econ.*, vol. 84, pp. 74–83, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.09.009>.
- [45] B. Bilitewski, “The Circular Economy and its Risks,” *Waste Manag.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–2, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.004>.
- [46] Delft University, “Engineering Design for a Circular Economy Online Course,” 2021. <https://learning.edx.org/course/course-v1:DelftX+PDCE01x+3T2020/home>.
- [47] I. Fernández and T. Kekäle, “The influence of modularity and industry clockspeed on reverse logistics strategy: Implications for the purchasing function,” *J. Purch. Supply Manag.*, vol. 11, no. 4, pp. 193–205, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2006.01.005>.
- [48] W. Stahel, *The performance economy*. Springer, 2010.
- [49] J. Hultman and H. Corvellec, “The European waste hierarchy: From the sociomateriality of waste to a politics of consumption,” *Environ. Plan. A*, vol. 44, no. 10, pp. 2413–2427, 2012.
- [50] A. Gehin, P. Zwolinski, and D. Brissaud, “A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase,” *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 5, pp. 566–576, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.012>.
- [51] A. Merrington, “9 - Recycling of Plastics,” in *Plastics Design Library*, M. B. T.-A. P. E. H. (Second

- E. Kutz, Ed. William Andrew Publishing, 2017, pp. 167–189.
- [52] R. K. Srigboh *et al.*, “Multiple elemental exposures amongst workers at the Agbogbloshie electronic waste (e-waste) site in Ghana,” *Chemosphere*, vol. 164, pp. 68–74, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.089>.
- [53] R. Cossu and I. D. Williams, “Urban mining: Concepts, terminology, challenges,” *Waste Manag.*, vol. 45, pp. 1–3, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.040>.
- [54] P. Frändegård, J. Krook, N. Svensson, and M. Eklund, “A novel approach for environmental evaluation of landfill mining,” *J. Clean. Prod.*, vol. 55, pp. 24–34, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.045>.
- [55] P. T. Jones *et al.*, “Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 55, pp. 45–55, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.021>.
- [56] T. Sirkin and M. ten Houten, “The cascade chain: a theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 10, no. 3, pp. 213–276, 1994.
- [57] O. Olsson *et al.*, “Time to tear down the pyramids? A critique of cascading hierarchies as a policy tool,” *WIREs Energy Environ.*, vol. 7, no. 2, p. e279, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/wene.279>.
- [58] A. Ortego, A. Valero, A. Valero, and M. Iglesias, “Downcycling in automobile recycling process: A thermodynamic assessment,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 136, pp. 24–32, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.006>.
- [59] K. Campbell-Johnston, W. J. V Vermeulen, D. Reike, and S. Brullot, “The Circular Economy and Cascading: Towards a Framework,” *Resour. Conserv. Recycl. X*, vol. 7, p. 100038, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100038>.
- [60] V. Rizos *et al.*, “Implementation of circular economy business models by small and medium-sized enterprises (SMEs): Barriers and enablers,” *Sustainability*, vol. 8, no. 11, p. 1212, 2016.
- [61] M. A. Franco, “Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents’ struggles and challenges in the textile industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 168, pp. 833–845, 2017.
- [62] T. Lahti, J. Wincent, and V. Parida, “A definition and theoretical review of the circular economy, value creation, and sustainable business models: where are we now and where should research move in the future?,” *Sustainability*, vol. 10, no. 8, p. 2799, 2018.
- [63] J. Kirchherr *et al.*, “Barriers to the circular economy: evidence from the European Union (EU),” *Ecol. Econ.*, vol. 150, pp. 264–272, 2018.
- [64] R. Merli, M. Preziosi, and A. Acampora, “How do scholars approach the circular economy? A

- systematic literature review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 178, pp. 703–722, 2018.
- [65] L. M. Fonseca, J. P. Domingues, M. T. Pereira, F. F. Martins, and D. Zimon, “Assessment of Circular Economy within Portuguese Organizations,” *Sustainability*, vol. 10, no. 7, 2018, doi: 10.3390/su10072521.
- [66] V. Ranta, L. Aarikka-Stenroos, P. Ritala, and S. J. Mäkinen, “Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 135, pp. 70–82, 2018.
- [67] K. T. Adams, M. Osmani, T. Thorpe, and J. Thornback, “Circular economy in construction: current awareness, challenges and enablers,” in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Waste and Resource Management*, 2017, vol. 170, no. 1, pp. 15–24.
- [68] M. Ormazabal, V. Prieto-Sandoval, R. Puga-Leal, and C. Jaca, “Circular economy in Spanish SMEs: challenges and opportunities,” *J. Clean. Prod.*, vol. 185, pp. 157–167, 2018.
- [69] E. T. A. Stefan Bringezu, Anu Ramaswami, Heinz Schandl, Meghan O’Brien, Rylie Pelton, Jean Acquatella, K. H. Anthony Shun Fung Chiu, Robert Flanegin, Jacob Fry, Stefan Giljum, Seiji Hashimoto, Stefanie Hellweg, M. O. Yuanchao Hu, Manfred Lenzen, Mirko Lieber, Stephan Lutter, Alessio Miatto, Ajay Singh Nagpure, E. van der V. Lauran van Oers, Stephan Pfister, Peter-Paul Pichler, Armistead Russell, Lucilla Spini, Hiroki Tanikawa, and B. Z. and R. Z. Helga Weisz, James West, Anders Wijkman, “ASSESSING GLOBAL RESOURCE USE,” 2017.
- [70] Circle Economy, “The Circularity the Gap Report,” 2020.
- [71] U. Nations, “World Population Prospects 2019.” <https://population.un.org/wpp/>.
- [72] P. Europe, “Plastics – the Facts 2020,” *PlasticEurope*, p. 16, 2020.
- [73] Platform for Accelerating the Circular Economy, “Circular Economy Action Agenda - Plastics,” no. February, p. 55, 2021, [Online]. Available: [https://pacecircular.org/sites/default/files/2021-02/circular-agenda-plastics-feb2021\\_FINAL.pdf](https://pacecircular.org/sites/default/files/2021-02/circular-agenda-plastics-feb2021_FINAL.pdf).
- [74] LAURA PARKER, “Fast facts about plastic pollution,” 2018, 2020. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/plastics-facts-infographics-ocean-pollution> (accessed May 04, 2021).
- [75] Ellen MacArthur Foundation, “The New PLastics Economy- Rethining the future of Plastics,” 2016. doi: 10.4324/9780203965450.
- [76] B. P. Federation, “The Benefits of Using Plastic Packaging.” [https://www.bpf.co.uk/plastipedia/applications/about\\_plastics\\_\\_packaging.aspx#waste](https://www.bpf.co.uk/plastipedia/applications/about_plastics__packaging.aspx#waste) (accessed May 04, 2021).
- [77] European Bioplastics, “Bioplastic materials,” 2020. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/>.

- [78] D. Verma and E. Fortunati, *Biobased and biodegradable plastics*, vol. 4, no. 1722. 2019.
- [79] Ellen MacArthur Foundation, “New Plastics Economy - Catalysing Action,” 2017, doi: 10.2443/skv-s-2013-51020130303.
- [80] Ellen MacArthur Foundation, “The Global Commitment 2020,” 2020.
- [81] D. Feber, A. Granskog, O. Lingqist, and O. Nordigården, “Sustainability in packaging : Inside the minds of global consumers | McKinsey & Company,” no. December, pp. 1–6, 2020, [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/paper-forest-products-and-packaging/our-insights/sustainability-in-packaging-inside-the-minds-of-us-consumers>.
- [82] C. L. Holger Rubel, Alexander Meyer zum Felde, Jan Oltmanns and L. Bayer, “CIRCelligence by BCG- It’s Time to Close Our Future Resource Loops,” 2020.
- [83] M. Linder, S. Sarasini, and P. van Loon, “A Metric for Quantifying Product-Level Circularity,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 21, no. 3, pp. 545–558, 2017, doi: 10.1111/jiec.12552.
- [84] EASAC, “Indicators for a circular economy,” 2016.
- [85] R. K. Singh, H. R. Murty, S. K. Gupta, and A. K. Dikshit, “An overview of sustainability assessment methodologies,” *Ecol. Indic.*, vol. 9, no. 2, pp. 189–212, 2009.
- [86] E. Wisse, “Assessment of indicators for Circular Economy: The case for the Metropole Region of Amsterdam.” 2016.
- [87] E. Smeets and R. Weterings, “Environmental indicators: Typology and overview,” 1999.
- [88] OCDE, “Measuring and managing results in development co-operation,” 2014.
- [89] C. T. de Oliveira, T. E. T. Dantas, and S. R. Soares, “Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 26, pp. 455–468, 2021, doi: 10.1016/j.spc.2020.11.024.
- [90] Circle Economy, “The Circularity Gap Report 2021,” p. 71, 2021, [Online]. Available: <https://www.circularity-gap.world/2021>.
- [91] Y. Geng, J. Fu, J. Sarkis, and B. Xue, “Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 23, no. 1, pp. 216–224, 2012.
- [92] R. Balanay and A. Halog, “Charting policy directions for mining’s sustainability with circular economy,” *Recycling*, vol. 1, no. 2, pp. 219–231, 2016.
- [93] M. Saidani, B. Yannou, Y. Leroy, and F. Cluzel, “How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework,” *Recycling*, vol. 2, no. 1, p. 6, 2017.
- [94] X. Huamao and W. Fengqi, “Circular economy development mode based on system theory,” *Chinese J. Popul. Resour. Environ.*, vol. 5, no. 4, pp. 92–96, 2007.

- [95] A. De Pascale, R. Arbolino, K. Szopik-Depczyńska, M. Limosani, and G. Ioppolo, "A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators," *J. Clean. Prod.*, vol. 281, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124942.
- [96] M. Saidani, B. Yannou, Y. Leroy, F. Cluzel, and A. Kendall, "A taxonomy of circular economy indicators," *J. Clean. Prod.*, vol. 207, pp. 542–559, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.014.
- [97] A. Parchomenko, D. Nelen, J. Gillabel, and H. Rechberger, "Measuring the circular economy - A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics," *J. Clean. Prod.*, vol. 210, pp. 200–216, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.10.357.
- [98] WBCSD, "Indicadores de transição circular v2.0," 2021.
- [99] F. Di Maio and P. C. Rem, "A Robust Indicator for Promoting Circular Economy through Recycling," *J. Environ. Prot. (Irvine, Calif.)*, vol. 06, no. 10, pp. 1095–1104, 2015, doi: 10.4236/jep.2015.610096.
- [100] Ellen MacArthur Foundation, "Complete the picture: How the circular economy tackles climate change," *Ellen MacArthur Found.*, no. September, pp. 1–62, 2019, [Online]. Available: [www.ellenmacarthurfoundation.org/publications](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications).
- [101] WBCSD, "Circular Transition Indicators," no. July, p. 40, 2021, [Online]. Available: <https://www.wbcd.org/Programs/Circular-Economy/Factor-10/Resources/Circular-Transition-Indicators>.