



# Avaliação da sustentabilidade ambiental da incorporação da casca de arroz em solas de borracha SBR

**HENRIQUE MANUEL DA SILVA TEIXEIRA**

Outubro de 2020

Avaliação da sustentabilidade ambiental da  
incorporação da casca de arroz em solas de borracha  
SBR

Henrique Manuel da Silva Teixeira

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de *Mestre*  
*em Engenharia Química, ramo Qualidade*

Realizado em:

Monteiro, Ribas- Indústrias, S.A.



Orientadora Monteiro Ribas Footwear: Doutora Luísa Sousa

Orientadores ISEP: Doutora Ermelinda Manuela Garrido

Doutor Jorge Garrido

Outubro de 2020



## Agradecimentos

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a concretização desta dissertação.  
Especialmente:

À professora Doutora Ermelinda Manuela Garrido pela orientação, dedicação, disponibilidade e motivação, bem como pelo material fornecido e por todas as sugestões e conhecimentos transmitidos ao longo destes meses de trabalho.

Ao professor Doutor Jorge Garrido por ter aceitado ser meu coorientador, por todo o apoio e ajuda demonstrado ao longo destes meses de trabalho.

À empresa Monteiro, Ribas – Indústrias S.A, pela oportunidade de realização desta dissertação.

À Doutora Luísa Sousa, pela oportunidade e disponibilidade em colaborar com a informação necessária para realização desta dissertação

A todos os Professores que fizeram parte do meu percurso académico.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto por me ter acolhido ao longo destes anos.

Aos meus colegas de curso pela ajuda e pela partilha durante estes 2 anos de mestrado.

À minha família por todo o apoio ao longo da minha formação académica e pessoal, motivando-me sempre para dar o meu melhor.

À Rosária pela força que sempre me deu para conseguir ultrapassar todos os obstáculos, pelo amor e por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida pessoal e académica.



## Resumo

Atualmente a escassez de recursos naturais é de tal forma evidente que as empresas e organizações mundiais têm sofrido grande pressão no sentido de controlar o impacto das suas operações, em prol do meio ambiente e da satisfação do consumidor.

A atividade industrial gera grandes quantidades de resíduos com consequências nefastas para o meio ambiente pelo que o seu reaproveitamento surge naturalmente como uma solução sustentável e económica.

Este estudo focou-se na incorporação de resíduos de origem natural no fabrico de solas de borracha. Para tal foram estudadas e comparadas duas solas, uma de borracha estireno butadieno (SBR) e uma de borracha SBR com a incorporação de 40% de casca de arroz. Avaliou-se o ciclo de vida de ambas as solas, em função dos seguintes parâmetros: emissão de gases com efeito de estufa (GEE) na produção das matérias-primas, emissão de GEE na produção das placas de borracha, pegada hídrica, emissão de GEE na combustão / biodegradação no fim de vida das solas e reciclagem.

Durante o processo de produção das matérias-primas ocorre libertação de GEE. Neste processo os monómeros estireno e butadieno são considerados os mais relevantes, concluindo-se que a sola com casca de arroz emite menos GEE.

A emissão de GEE na produção das duas solas é igual, estimando-se a emissão de 0,97 ton CO<sub>2</sub> eq/ton de borracha, consequência do consumo de energia elétrica e de gás natural.

Relativamente à pegada hídrica, a produção das solas necessita da mesma quantidade de água.

Na análise do fim de vida das solas considerou-se que um dos destinos seria a incineração. A sola com casca de arroz emite 1,36 ton CO<sub>2</sub> eq/ton, menos 40% de GEE. Optando pela biodegradação, a sola com casca de arroz apresenta uma perda de massa de 5,5%, superior ao da sola de borracha SBR (3,44%).

Os resultados observados nestes parâmetros e o reaproveitamento de resíduos aparentemente inúteis, demonstra que a incorporação da casca de arroz na sola de borracha é uma alternativa sustentável e uma estratégia a seguir na unidade industrial.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento Sustentável, Sustentabilidade, ACV, SBR, Casca de Arroz



## Abstract

The lack of natural resources is, nowadays, so evident that worldwide companies and organizations are facing increasing pressure by consumers to reduce the negative impact of their operations in the environment.

The reuse of waste produced by industrial activity appears as a sustainable and economical solution to lower that undesirable effect.

This study concentrated on the incorporation of natural origin waste in the manufacture of rubber soles. For this purpose, two soles were studied and compared, one made of styrene butadiene rubber (SBR) and one made of SBR rubber with 40% of rice husks. The life cycle of both soles was evaluated, according to the following parameters: emission of greenhouse gases (GHG) in the production of raw materials, emission of GHG in the production of rubber plates, water footprint, emission of GHG in combustion / biodegradation at the end of life of the soles and recycling.

During the production process of the raw materials, GHG is released. In this process, the monomers styrene and butadiene are considered the most relevant, concluding that sole with rice husk emits less GHG.

The emission of GHG in the production of the two soles is the same, with an estimated emission of 0.97 ton CO<sub>2</sub> eq/ton of rubber, a consequence of the consumption of electricity and natural gas.

Regarding the water footprint, the production of soles requires the same amount of water.

Incineration was considered one of the destinations of the end of life of soles. The rice husk sole emits 1.36 ton CO<sub>2</sub> eq/ton, less 40% GHG. Choosing biodegradation, the sole with rice husk has a mass loss of 5.5%, higher than that of the SBR rubber sole (3.44%).

The results observed in these parameters and the reuse of apparently useless residues shows that the incorporation of rice husk in the rubber sole is a sustainable alternative and a strategy to be followed in industrial unit.

**Keywords:** Sustainable Development, Sustainability, LCA, SBR, Rice Husk



## Índice

Capítulo 1 .....	1
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos do trabalho.....	1
1.3. A empresa .....	2
1.4. Estrutura da Dissertação .....	2
Capítulo 2 .....	5
2. Introdução teórica .....	5
2.1. A Sustentabilidade. Contexto histórico .....	5
2.2. Objetivos para garantir o desenvolvimento sustentável .....	9
2.3. Índices de Sustentabilidade .....	10
2.3.1. Índice de Sustentabilidade Dow Jones (DJSI) .....	11
2.3.2. Triple Botton Line (TBL).....	11
2.4. Indicadores de desenvolvimento sustentável.....	12
2.4.1. Potencial de aquecimento global: Emissão de gases com efeito de estufa .....	14
2.4.2. Pegada Hídrica: Consumo de água.....	16
2.4.3. Energia não renovável: Produção e consumo de energia primária .....	17
2.5. Estado da arte. Exemplos de estudo da sustentabilidade.....	18
Capítulo 3 .....	23
3. Avaliação de ciclo de vida .....	23
3.1. Definição de objetivo e do âmbito.....	24
3.1.1. Definição de Objetivo .....	24
3.1.1.1. Aplicações pretendidas .....	25
3.1.1.2. Razões para a realização do estudo e contexto de decisão .....	25
3.1.1.3. Público alvo .....	25
3.1.1.4. Comparação destinadas a serem divulgadas ao público .....	26

3.1.2.	Definição de âmbito .....	26
3.1.2.1.	Função, unidade funcional e fluxo de referências .....	26
3.1.2.2.	Fronteiras do sistema .....	27
3.1.2.3.	Requisitos da qualidade dos dados iniciais .....	28
3.2.	Inventário do ciclo de vida .....	28
3.3.	Avaliação de impacte do ciclo de vida .....	29
3.4.	Interpretação do ciclo de vida.....	30
3.4.1.	Avaliação.....	31
3.4.2.	Conclusões, limitações e recomendações.....	31
Capítulo 4	.....	33
4.	Material em estudo.....	33
4.1.	Casca de arroz.....	33
Capítulo 5	.....	37
5.	Parte Experimental.....	37
5.1.	Avaliação do ciclo de vida da sola de borracha.....	37
5.1.1.	Etapas do processo de produção.....	39
	Pesagem.....	39
	Mistura .....	39
	Provetagem.....	40
	Vulcanização .....	40
	Calibração.....	41
5.2.	Estudo da Sustentabilidade .....	41
5.2.1.	Estudo de alguns indicadores de sustentabilidade da sola de borracha SBR.....	41
5.2.1.1.	Análise das emissões na obtenção da matéria-prima.....	41
5.2.1.2.	Análise das emissões no Processo de Produção na Monteiro Footwear.....	45
5.2.1.3.	Análise das emissões no fim de vida .....	45
5.2.1.4.	Análise da pegada hídrica .....	46

5.2.2. Estudo de alguns indicadores de sustentabilidade da sola de borracha SBR com a incorporação de casca de arroz .....	46
5.2.2.1. Análise das emissões na obtenção da matéria-prima .....	46
5.2.2.2. Análise das emissões na produção de placas de SBR com casca de arroz .	47
5.2.2.3. Análise das emissões no fim de vida .....	48
5.2.2.4. Análise da pegada hídrica .....	49
5.2.3. Comparação da sustentabilidade entre a sola de borracha SBR e da sola de borracha com incorporação de 40% de casca de arroz .....	49
Capítulo 6 .....	53
6. Conclusões e Sugestões para Trabalho Futuro .....	53
Referências bibliográficas .....	55
Anexos.....	63
Anexos A. Emissão de gases com efeito de estufa no fim de vida das solas .....	63
A.1. Determinação da emissão de GEE durante a incineração da sola de borracha SBR	63
A.2. Determinação da emissão de GEE durante a incineração da sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz.....	64



## Índice de figuras

Figura 1.1. Localização da empresa Monteiro, Ribas – Indústrias, S.A. ....	2
Figura 2.1. Desenvolvimento sustentável e as diversas dimensões .....	7
Figura 2.2. Utilização de água por setor.....	17
Figura 3.1. Fases de uma avaliação de ciclo de vida.....	23
Figura 3.2. Procedimento para realização do inventário .....	29
Figura 3.3. Elementos da fase de AICV .....	30
Figura 3.4. Relação entre os elementos da fase de interpretação com as restantes fases da ACV .....	31
Figura 4.1. Área de produção e produtividade de arroz em Portugal entre 2007 e 2018.....	33
Figura 4.2. Processos de produção de arroz e subprodutos.....	34
Figura 4.3. Algumas aplicações e processos de conversão da casca de arroz.....	36
Figura 5.1. Ciclo de vida da sola de borracha SBR.....	38
Figura 5.2. Processo de vulcanização da borracha.....	40
Figura 5.3. Produção e consumo de petróleo a nível Mundial, no período entre 1990 até 2018 .....	42
Figura 5.4. Previsão do consumo de petróleo a nível Mundial desde 2015 até 2050 .....	43
Figura 5.5. Formula química do butadieno. ....	44
Figura 5.6. Obtenção da borracha SBR.....	45



## Índice de tabelas

Tabela 2.1. Principais diferenças entre sustentabilidade forte e fraca. ....	9
Tabela 2.2. Indicadores ambientais .....	13
Tabela 2.3. Gases com efeito de estufa .....	15
Tabela 4.1. Produção de arroz de 2007 até 2018 e subproduto gerado ao longo do processo de produção. ....	35
Tabela 5.1. Constituintes da sola de borracha SBR e a respetiva composição. ....	41
Tabela 5.2. Constituintes da sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz e a respetiva composição. ....	47
Tabela 5.3. Parâmetros analisados das duas solas em estudo. ....	50



## Lista de siglas, abreviaturas e símbolos

ACV	Avaliação do ciclo de vida
AICV	Avaliação de impacte do ciclo de vida
CH <sub>4</sub>	Metano
CMMAD	Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CSD	Comissão de Desenvolvimento Sustentável
DJSI	Dow Jones Sustainability Index
DS	Desenvolvimento Sustentável
EU-25	Europa dos 25
FMCG	Fast-moving consumer goods
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GPL	Gás de petróleo liquefeito
GRI	Global Reporting Initiative
GWP	Global Warming Potencial
HFC	Hidrofluorcarbonetos
ICV	Inventário do ciclo de vida
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	International Standards Organization
kt	Quilotoneladas
MDS	Método de Escalonamento Multidimensional
m <sup>3</sup>	Metro cúbico

NP	Norma Portuguesa
N <sub>2</sub> O	Óxido nítrico
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milénio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
O <sub>2</sub>	Oxigénio
PEAD	Polietileno de alta densidade
PET	Politereftalato de etileno
PFC	Hidrocarbonetos perfluorados
SBR	Borracha de butadieno estireno
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
SIDS	Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável
TBL	Triple Bottom Line
%	Percentagem

# Capítulo 1

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

A presente Dissertação foi elaborada no âmbito da unidade curricular Dissertação/Estágio pertencente ao Mestrado em Engenharia Química- ramo Qualidade lecionado no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

Este trabalho tem como intervenientes a Monteiro Footwear do Grupo Monteiro, Ribas, situada no Porto e o ISEP. Devido às circunstâncias da pandemia Covid-19, o trabalho foi desenvolvido à distância.

### 1.2. Objetivos do trabalho

O desenvolvimento sustentável é um conceito essencial assente num equilíbrio entre o crescimento económico, igualdade social e proteção ambiental. Este conceito foi referido pela primeira vez em 1987, no Relatório Brundtland da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento criado pela Organização das Nações Unidas (ONU), onde definem o conceito como: “Desenvolvimento que permite satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas necessidades” (Brundtland, 1987).

A sustentabilidade tem como objetivo otimizar a gestão de recursos, a reutilização de materiais e resíduos originados em outras indústrias, para que seja possível a diminuição da pegada ecológica do nosso Planeta (eCycle, s.d.).

Este trabalho focou essencialmente a avaliação da sustentabilidade da incorporação do resíduo da casca de arroz proveniente da indústria da produção de arroz em solas de borracha. A indústria é um dos setores que mais utiliza recursos não renováveis, por isso existe cada vez mais uma preocupação crescente, de modo a diminuir a utilização desses recursos e tornar a indústria sustentável (Toniollo *et al.*, 2015).

Com o trabalho realizado pretende-se avaliar a sustentabilidade de produtos de solas desenvolvidas na empresa onde se reutilizaram e incorporaram os resíduos resultantes da indústria alimentar, nomeadamente a casca de arroz.

### 1.3. A empresa

O grupo Monteiro, Ribas Indústrias, SA é uma empresa familiar fundada em 1917, situada na cidade do Porto (Fig. 1.1) que atualmente se dedica a diversas atividades industriais, nomeadamente revestimentos, borracha, embalagens flexíveis e energia.

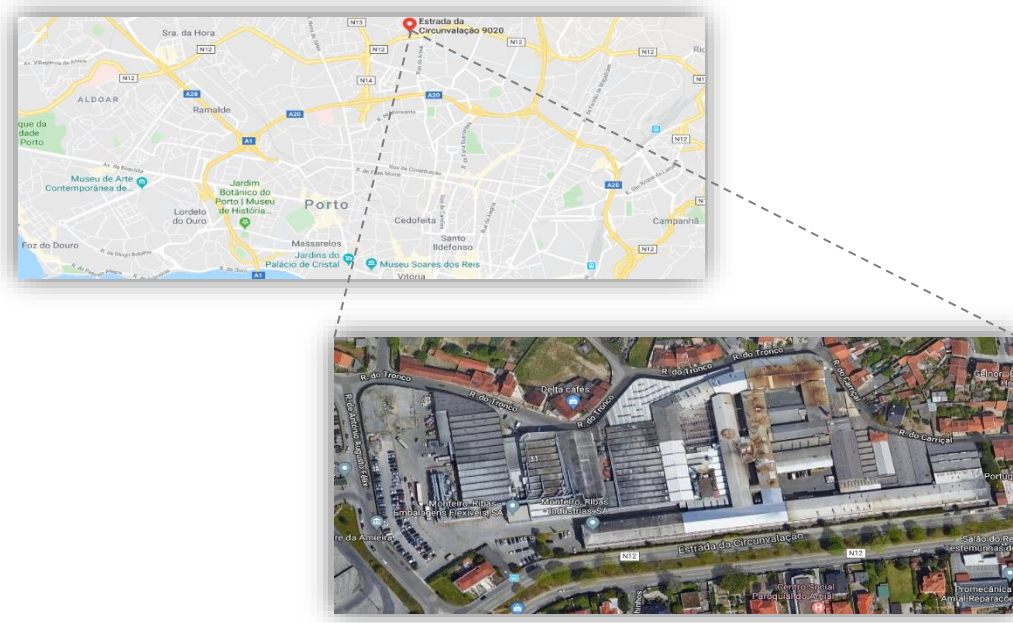


Figura 1.1. Localização da empresa Monteiro, Ribas – Indústrias, S.A.

O grupo iniciou a sua atividade na área de curtumes para a indústria de calçado. (Monteiro Fabrics, 2019). Em 1961 a empresa complementou a sua atividade com o fabrico de artigos de borracha, dando origem ao que é hoje a unidade Monteiro Footwear. Esta unidade dedica-se essencialmente ao fabrico de placas de borracha destinadas a solas e outros componentes de calçado.

### 1.4. Estrutura da Dissertação

Este trabalho está dividido em 6 capítulos que permitem uma correta organização e desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 1 inclui uma descrição dos objetivos do trabalho, bem como o local onde foi realizado.

O capítulo 2 descreve o contexto histórico associado à sustentabilidade, apresentando posteriormente os indicadores de sustentabilidade ambiental. No mesmo capítulo é apresentado o estado da arte, onde são descritos alguns estudos realizados de sustentabilidade de produtos análogos.

O capítulo 3 apresenta os fundamentos da avaliação do ciclo de vida de produtos, segundo as normas ISO 14040 e ISO 14044.

O capítulo 4 aborda o processo de produção do arroz e obtenção da casca de arroz. É também apresentada uma avaliação da quantidade de arroz produzida em Portugal, bem como do resíduo gerado nessa produção. É feita a descrição da composição da casca de arroz e de algumas aplicações para sua valorização.

O capítulo 5 apresenta o ciclo de vida da sola de borracha, onde é feito um resumo dos processos de produção. É realizado o estudo comparativo entre a sustentabilidade da borracha SBR e da borracha SBR com incorporação de casca de arroz.

Na conclusão, capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho e sugeridas propostas para trabalhos futuros.



## Capítulo 2

### 2. Introdução teórica

#### 2.1. A Sustentabilidade. Contexto histórico

O termo *Nachhaltigkeit* (palavra alemã para sustentabilidade) foi usado pela primeira vez em 1713 (Wilderer, 2007). O conceito de sustentabilidade surgiu originalmente associado à silvicultura, que significava nunca colher mais que aquilo que a natureza produz num novo crescimento (Wiersum, 1995). Este conceito suscitou um grande interesse e relevância a nível de estudo económico devido à cada vez maior escassez de recursos.

Um exemplo famoso, é de Thomas Malthus que publicou em 1798 uma teoria sobre a fome em massa designada “Malthusianismo”. Esta teoria indicava que devido à expansão da população, a capacidade produtiva da terra iria ser francamente ultrapassada o que provocaria fome e miséria. Mais tarde em 1937, Harold Hotelling economista americano, apresentou uma teoria sobre a taxa ideal de exploração de recursos não renováveis que apresenta elevada relevância ainda nos dias de hoje (Hotelling, 1937). Posteriormente, surgiu o relatório do clube de Roma que representou um marco importante uma vez que permitiu captar a atenção das políticas mundiais porque previa que os recursos essenciais para a sobrevivência se esgotassem a longo prazo (Meadows *et al.*, 1972).

Mais tarde, em 1987, surge um novo relatório onde foi pela primeira vez apresentado o conceito de sustentabilidade tal e qual como o conhecemos atualmente. Este relatório, elaborado pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) da ONU, mais conhecido como Relatório Brundtland em homenagem ao seu presidente, realçou a importância de evitar uma destruição ambiental cada vez mais iminente. A sustentabilidade referida no relatório, procura equilibrar a disponibilidade entre os recursos naturais e a exploração dos mesmos preservando o meio ambiente. Este conceito surge da necessidade de recorrer a recursos alternativos para que não haja rotura de recursos naturais. Paralelamente, neste relatório surgiram sugestões/propostas de como se poderia obter uma vida melhor sem comprometer os recursos naturais limitados e considerando os riscos de degradação do ambiente. A partir destas sugestões/propostas, surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, definido pela CMMAD, como o desenvolvimento que atende às necessidades atuais sem comprometer as necessidades de gerações futuras e inclui o desenvolvimento

económico, desenvolvimento social e proteção ambiental, que se reforçam mutuamente visando uma melhor qualidade de vida para todas as pessoas (Brundtland, 1987).

No início deste século, Robert Gibson um cientista político, defendeu que é crucial entender que os desenvolvimentos económicos, sociais e ambientais são diferentes, porque avaliar os ganhos materiais não é suficiente para garantir o bem-estar humano (Gibson, 2001). Desta forma, o desenvolvimento sustentável passa então ser definido como a manutenção do bem-estar por um período longo, talvez até indefinido.

A dimensão ambiental é a que apresenta maior relevância para os especialistas em desenvolvimento sustentável, uma vez que considera o equilíbrio e a manutenção de ecossistemas, conservação e manutenção genética, manutenção de recursos abióticos e integridade climática. Faz uma abordagem à natureza externa ao ser humano e considera que quanto mais modificações forem realizadas pelo Homem na natureza menor será a sustentabilidade ambiental. Assim, os especialistas consideram a necessidade de adaptar o uso de recursos naturais consoante a sua capacidade de renovação. Este facto serviu de base ao desenvolvimento de ações que permitam o desenvolvimento sustentável ambiental (Rattner, 1999):

- Uso de recursos naturais, com o mínimo de danos no que concerne à sustentação da vida;
- Preservar os recursos naturais na produção de recursos renováveis e limitar a utilização de recursos não renováveis;
- Limitar ao máximo o uso de combustíveis fósseis e de outros recursos prejudiciais ao ambiente, substituindo-os por recursos renováveis e menos poluentes;
- Reduzir os resíduos através do recurso à reciclagem;
- Definição de regras de proteção ambiental e de um conjunto de instrumentos económicos, legais e administrativos que garantam cumprimento das regras estabelecidas.

A vertente económica considera um conjunto de medidas e políticas que visem a incorporação de conceitos ambientais e sociais. As vertentes ambientais e sociais são adicionadas a este conceito criando assim a interligação entre as várias dimensões. Assim, o lucro é medido na vertente financeira e na vertente ambiental e social. O objetivo mais importante desta dimensão é garantir que a exploração dos recursos é feita de forma sustentável sem colocar em causa o seu esgotamento, isto é possível através da introdução de elementos na

gestão como o nível ótimo de poluição, acrescentando assim um valor económico à componente ambiental (Cremasco, 2015).

O objetivo da dimensão social consiste em garantir que todas as pessoas tenham equidade de acesso a bens, serviços de boa qualidade necessários para uma vida digna, para garantir isto é necessário remover as principais fontes de privação da liberdade, onde se engloba a pobreza, tirania, carência de oportunidades económicas e intolerância ou interferência excessiva de estados representativos (Nascimento, 2012).

A figura 2.1. apresenta esquematicamente o desenvolvimento sustentável que engloba as diferentes dimensões de sustentabilidade.

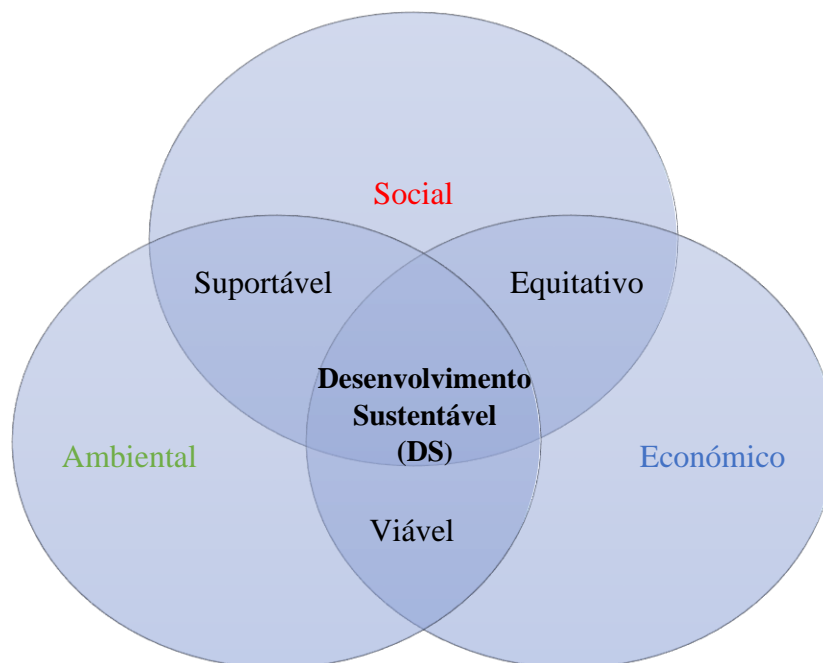


Figura 2.1. Desenvolvimento sustentável e as diversas dimensões (Breier *et al.*, 2011).

O desenvolvimento sustentável é dividido em duas visões apresentadas por Pearce *et al.* (Pearce *et al.*, 1989):

(i) *Que a próxima geração deve herdar uma riqueza, compreendendo ativos criados pelo homem e ativos ambientais, não inferior à riqueza herdada pela geração anterior;*

(ii) *Que a próxima geração deve herdar uma riqueza de ativos ambientais não inferior à riqueza herdada pela geração anterior.*

Estas duas visões de desenvolvimento sustentável incluem a denominada sustentabilidade 'fraca' e 'forte', respetivamente (Ayres *et al.*, 1998).

A designação de sustentabilidade forte consiste num conjunto de limites estabelecidos por lei que não devem ser ultrapassados. Ao avaliar o impacto de qualquer intervenção os resultados devem estar dentro desses limites. Os limites são estabelecidos consoante preferências sociais e políticas, mas também por questões de resiliência, por exemplo, até que ponto um ecossistema consegue recuperar do impacto (Ayres *et al.*, 1998). No que concerne ao desenvolvimento sustentável é menos otimista, porque existe um limite na substituição de recursos naturais pelos recursos produzidos (recursos alternativos aos naturais) pelo Homem. Ambos os recursos se complementam, por isso caso os recursos naturais escasseiem, o crescimento económico entrará em colapso porque não haverá recursos produzidos pelo Homem suficientes para os substituir. Assim a preservação dos recursos naturais assume uma grande importância (Nasrollahi *et al.*, 2015).

A denominação de sustentabilidade fraca é mais flexível em relação ao uso de recursos naturais. Considera que os recursos naturais podem ser substituídos pelos recursos produzidos, com recurso ao desenvolvimento tecnológico. Desta forma, mesmo que os recursos naturais escasseiem o desenvolvimento económico pode manter-se porque os recursos produzidos assumem o papel dos recursos naturais (Nasrollahi *et al.*, 2015).

Deste modo, é possível assumir que o resultado mais sustentável é aquele que leva a uma maior quantidade de recursos ativos ambientais, paisagens valiosas, e outras formas de património cultural, ciência e tecnologia (Groot *et al.*, 2002).

Em seguida, na tabela 2.1. apresenta uma comparação entre sustentabilidade forte e fraca.

Tabela 2.1. Principais diferenças entre sustentabilidade forte e fraca.

<b>Principais diferenças entre sustentabilidade forte e fraca</b>		
	<b>Sustentabilidade forte</b>	<b>Sustentabilidade fraca</b>
<b>Ideia-Chave</b>	A substituição de recursos naturais por recursos alternativos é bastante limitada.	Os recursos naturais e outros tipos de recursos (fabricados etc.) são perfeitamente substituíveis.
<b>Consequências</b>	Certas ações humanas podem acarretar consequências irreversíveis.	Inovação tecnológica e compensação monetária pela degradação ambiental.
<b>Questão de sustentabilidade</b>	Conservar os a quantidade de recursos naturais insubstituíveis em prol da geração futura.	O valor total de recursos naturais deve ser pelo menos mantidos ou idealmente aumentados para a geração futura.
<b>Conceito-chave</b>	Recursos naturais críticos.	Alocação ideal de recursos escassos.
<b>Definição de limites e normas ambientais</b>	Conhecimento científico para deliberação de elementos essenciais para produção de determinado produto (racionalidade processual).	Abordagem técnica / científica para determinar limites e normas (racionalidade instrumental).

Adaptado: (Mancebo, 2013)

## 2.2. Objetivos para garantir o desenvolvimento sustentável

O objetivo específico 7 dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM), de 2000 a 2015, os 189 Estados Membros das Nações Unidas comprometeram-se a garantir a sustentabilidade ambiental. Para alcançar este objetivo, seria necessário (ONU, 2000):

- Integrar os princípios do desenvolvimento sustentável nas políticas e programas nacionais invertendo a atual tendência para a perda de recursos ambientais;

- Reduzir para metade a percentagem de população sem acesso permanente a água potável;
- Alcançar até 2020 uma melhoria significativa da vida de pelo menos cem mil habitantes de bairros degradados.

De 2016 a 2030, entrou em vigor os 17 novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), aprovados por 193 Estados Membros das Nações Unidas e onde comprometeram-se a solucionar necessidades das pessoas, quer em países desenvolvidos, quer em países em desenvolvimento. Estes novos objetivos tiveram como referência os ODM devido ao facto de terem sido bem-sucedidos, com o objetivo de ir mais longe e terminar com a pobreza. Os objetivos abordam as três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, económica e social.

No objetivo específico 12 dos ODS comprometeram-se a garantir que a produção e o consumo sejam sustentáveis, para isso foi ou será necessário (ONU, 2016):

- Implementar o plano decenal de programas sobre produção e consumo sustentáveis;
- Alcançar até 2030 a gestão e uso sustentável dos recursos naturais;
- Até 2030, reduzir para metade o desperdício de alimentos;
- Alcançar a gestão ambientalmente saudável dos produtos químicos e resíduos, e reduzir a libertação destes para o ambiente minimizando os impactos negativos, até 2020;
- Até 2030, reduzir a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização;
- Incentivar as empresas a adotar práticas sustentáveis;
- Garantir que até 2030, as pessoas tenham informação importante e consciência para o desenvolvimento sustentável;
- Apoiar países que estão em desenvolvimento a fortalecer as capacidades científicas e tecnológicas;
- Implementar ferramentas para monitorização dos impactos do desenvolvimento sustentável para o turismo que gera empregos.

### 2.3. Índices de Sustentabilidade

Numa altura em que os impactos ambientais assumem uma crescente preocupação, vão sendo definidas estratégias para se alcançar um desenvolvimento menos prejudicial para o

ambiente, para isto é necessário conseguir um equilíbrio entre aspetos sociais, ambientais e económicos. Adotando estas estratégias e com a necessidade de avaliação de diferentes opções políticas de sustentabilidade, haverá um estímulo para o desenvolvimento de novas ferramentas com base em indicadores (Leoneti *et al.*, 2016).

Os índices de sustentabilidade são indicadores financeiros que permitem avaliar o desempenho económico das empresas líderes em gestão sustentável. Existem vários índices que avaliam o compromisso das empresas em termos de sustentabilidade corporativa, tais como o índice de Sustentabilidade Dow Jones (DJSI) e o Triple Bottom Line (TBL). Os índices DJSI e TBL são os índices de sustentabilidade que se enquadram no presente estudo, devido ao aconselhamento de negócios que elabora relatórios de desenvolvimento sustentável com objetivos ambientais, económicos e sociais que serão abordados em seguida.

### 2.3.1. Índice de Sustentabilidade Dow Jones (DJSI)

O índice de sustentabilidade Dow Jones (DJSI) é reconhecido pela comunidade científica como um dos índices mais importantes de sustentabilidade. Foi lançado em 1999 e tornou-se o primeiro índice de sustentabilidade corporativa a nível global. Considera que a sustentabilidade cria valor a longo prazo para os intervenientes através do aproveitamento de oportunidades e gestão de riscos resultantes dos desenvolvimentos económico, social e ambiental (Chen, 2018).

O DJSI tem como objetivo avaliar o desempenho das organizações ao nível da sustentabilidade empresarial, num critério de avaliação de oportunidades e riscos que surgem através das dimensões económica, ambiental e social. Este índice proporciona critérios e objetivos para a gestão do investimento de sustentabilidade em busca de novas práticas para uma economia mais sustentável (Chen, 2018).

### 2.3.2. Triple Bottom Line (TBL)

Este índice foi desenvolvido pelo cientista inglês John Elkington em 1990, fundador da reconhecida empresa SustainAbility, especializada em aconselhamento de negócios sustentáveis. O TBL salienta que a sustentabilidade deve ser entendida como a procura

simultânea de objetivos económicos, ambientais e sociais, já referidos anteriormente neste capítulo (Seghezzeo, 2009);(Zink, 2014).

O Triple Botton Line, também conhecido por tripé da Sustentabilidade permite elaborar relatórios das empresas preocupadas com o desenvolvimento sustentável, através de medições de carácter voluntário. Cerca de 68% das multinacionais da Europa ocidental e 41% nos Estados Unidos aplicam este índice e verificam um crescimento acentuado. Estas empresas consideram que futuramente será uma mais valia a utilização deste índice, uma vez que o consumidor se tornará cada vez mais exigente e irá ter em conta o impacto ambiental, económico e social dos produtos que compra (Chamusca, *et al.*, 2006).

## 2.4. Indicadores de desenvolvimento sustentável

Os indicadores ajudam na avaliação global tendo em vista o desenvolvimento sustentável, fornecendo informações para o entendimento das necessidades do planeta, de modo a auxiliar nas decisões e no planeamento de ações (Meadows D. , 1998).

A palavra indicador é originado do latim, *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar e estimar (Hammond, 1995). São variáveis que representam uma característica, uma qualidade ou propriedade de um sistema, recolhendo as informações fundamentais sobre a sua viabilidade e a sua dinâmica de transformação (United Nations Division for Sustainable Development, 2001).

A importância de quantificar o equilíbrio ambiental entre a humanidade e os recursos naturais, levou à necessidade de usar indicadores de desenvolvimento sustentável (Ercin *et al.*, 2011).

Os indicadores são necessários para notificar a situação do processo de produção, tendo a possibilidade de intervir e corrigir determinados objetivos do processo, que sejam prejudiciais. Os indicadores de desenvolvimento sustentável devem englobar as dimensões sociais, ambientais e económicas e as novas formas de identificar a sustentabilidade ao longo do tempo (United Nations Division for Sustainable Development, 2001).

Segundo o Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (SIDS), é possível avaliar a evolução da sustentabilidade de uma organização, melhorando a gestão de

desempenho ambiental, económico, social e institucional. A tabela 2.2., apresenta os indicadores ambientais de acordo com SIDS Portugal.

Tabela 2.2. Indicadores ambientais (adaptado de (SIDS, 2007)).

Dimensão	Indicadores
<b>Ambiental</b>	Área florestal certificada
	Área florestal integrada em zonas de intervenção florestal – ZIF
	Áreas classificadas para conservação da natureza e biodiversidade
	Concentrações anuais de partículas e ozono
	Consumo de água
	Descargas de hidrocarbonetos e outras substâncias perigosas
	Disponibilidade hídrica
	Eficiência da utilização da água
	Emissão de gases com efeito de estufa – GEE
	Emissões de substâncias acidificantes e eutrofizantes
	Emissões de substâncias precursoras do ozono troposférico
	Espécies de fauna e flora ameaçadas
	Estado das águas de superfície
	Estado das águas subterrâneas
	Evolução da linha de costa
	Gestão de resíduos
	Índice de aves comuns
	Ocupação e uso do solo
	População exposta a ruído ambiente exterior
	População servida com sistemas de abastecimento de água
	População servida por sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais
	Produção de resíduos
	Qualidade da água em zonas balneares
	Qualidade da água para as zonas de proteção de espécies aquáticas de interesse económico
	Qualidade da água para consumo humano
	Qualidade do ar
	Reciclagem e valorização de resíduos urbanos
	Riscos naturais
Stocks pesqueiros abaixo dos limites biológicos de segurança	
Temperatura do ar	
Vigilância das áreas protegidas	

As principais funções dos indicadores para medição de desenvolvimento sustentável são (Reed *et al.*, 2006):

- Identificar objetivos e metas, verificando se as condições estão a ser atingidas;
- Permite fazer advertências acerca da necessidade de correção da estratégia de gestão;
- Anexar todas as informações necessárias ao processo de tomada de decisão, de modo a que seja possível implementar políticas em todos os níveis da sociedade;
- Garantir uma base para gestão de impactos ambientais;
- Fazer análise comparativa no tempo e no espaço, tendo em conta situações e locais;
- Identificar potenciais ações de risco futuras;
- Orientar o desenvolvimento, através de políticas e projetos.

Os indicadores podem ter objetivos (Romagosa & Cuétara, 2001):

- Científicos que permitem conhecer o estado do meio ambiente, da sociedade ou da economia;
- Políticos, que são usados no planeamento, gestão e avaliação das políticas em uso;
- Informativos, para comunicação e sensibilização cidadã e dos poderes públicos e económicos.

Importa salientar que é necessário identificar de forma adequada aquilo que se pretende avaliar, de modo a garantir uma correta utilização dos indicadores. Os indicadores são desenvolvidos para servir objetivos de políticas locais e garantir a aplicabilidade das mesmas, permitem ainda a medição de dados e identificação de problemas sociais e ambientais para incentivar a comunidade a garantir políticas e projetos de desenvolvimento. Assim, no presente estudo serão abordados os indicadores ambientais para o desenvolvimento sustentável que melhor se enquadram no objetivo deste trabalho.

#### 2.4.1. Potencial de aquecimento global: Emissão de gases com efeito de estufa

Um dos indicadores utilizados para a avaliação de sustentabilidade envolve a avaliação das emissões nacionais de gases antropogénicos que contribuem para o efeito de estufa, sendo os dados expressos em unidades de dióxido de carbono equivalente (SIDS, 2007).

A medição é feita através da análise direta dos valores anuais de emissão dos seguintes parâmetros: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoreto de

enxofre (SF<sub>6</sub>), hidrofluorcarbonetos (HFC's) e hidrocarbonetos perfluorados (PFC). Conforme o estabelecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da Convenção Quadro sobre Alterações Climáticas, a soma de cada um destes parâmetros permite obter a totalidade equivalente das emissões de CO<sub>2</sub>, sendo que é necessário considerar os fatores de conversão do potencial de aquecimento global (GWP) (SIDS, 2007). A tabela 2.3. apresenta os gases com efeito de estufa com o respetivo potencial de aquecimento global.

Tabela 2.3. Gases com efeito de estufa (Brander & David, 2012).

Gases com efeito de estufa (GEE)	Potencial de aquecimento global (GWP)
<b>Dioxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	1
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	25
<b>Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)</b>	298
<b>hidrofluorcarbonetos (HFCs)</b>	124 - 14800
<b>hidrocarbonetos perfluorados (PFCs)</b>	7390 - 12200
<b>hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>)</b>	22800

O potencial de aquecimento global de um gás com efeito de estufa indica a quantidade de aquecimento que um gás causa em um determinado período de tempo, normalmente 100 anos. O GWP é um índice, onde o CO<sub>2</sub> apresenta um valor de 1 e para os restantes GEEs é o número de vezes superior de aquecimento global que causam em relação ao CO<sub>2</sub>. Por exemplo, 1 kg de metano causa 25 vezes mais aquecimento ao longo de 100 anos em comparação com 1 kg de CO<sub>2</sub>, logo o metano tem um GWP de 25 (Brander & David, 2012). Assim, resumidamente, apresenta-se a seguir a conversão de três gases com efeito de estufa em CO<sub>2</sub> eq:

- 1 kt CO<sub>2</sub> = 1 kt CO<sub>2</sub> eq.;
- 1 kt CH<sub>4</sub> = 25 kt CO<sub>2</sub> eq.;
- 1 kt N<sub>2</sub>O = 298 kt CO<sub>2</sub> eq.

As emissões de gases com efeito de estufa dependem sobretudo do sistema energético nacional, estruturas industriais, estrutura florestal, estrutura agrícola, sistema de transportes, gestão de resíduos, e ainda dos parâmetros de consumo da população (SIDS, 2007).

No seguimento do protocolo de Quioto, entre 2013 e 2020, a União Europeia comprometeu-se a reduzir 20% a emissão de CO<sub>2</sub> relativamente ao ano de 1990. Em Portugal,

a meta estabelecida para 2020, previa uma redução das emissões de GEE de 18% a 23% face ao ano 2015, em que foram emitidos 68-72 Mt CO<sub>2</sub> eq (APA, 2020)

Os dados mais recentes do Inventário Nacional de Emissões de 2020 são relativos ao ano 2018, onde confirmam que as metas estabelecidas estão a ser cumpridas, uma vez que se verifica uma redução de 21% face às emissões do ano 2005 (48 Mt CO<sub>2</sub>eq) (APA, 2020).

As emissões de GEE relativos ao ano 2018, resultam maioritariamente de CO<sub>2</sub> e representam cerca de 76% do total, que resulta do uso de combustíveis fósseis e da importância do setor de energia, o CH<sub>4</sub> cerca de 14%, o N<sub>2</sub>O 5% e os gases fluorados cerca de 5% (APA, 2020).

O setor da energia e dos transportes apresenta 72% das emissões em 2018, ocorrendo uma diminuição de 5,5% face ao ano anterior. Neste setor a produção de energia e os transportes são os que emitem mais GEE, cerca de 27% e 26%, respetivamente. Relativamente aos GEE dos setores de processos industriais e uso de produtos, agricultura e resíduos emitem respetivamente 11%, 10% e 7% (APA, 2020).

#### 2.4.2. Pegada Hídrica: Consumo de água

Nas últimas décadas ocorreu um grande aumento populacional, em consequência disto houve uma diminuição acentuada de recursos hídricos. A produção de alguns produtos considerados de “luxo”, como por exemplo o aumento da produção na indústria têxtil, que mesmo não sendo bens de primeira necessidade provoca uma diminuição dos recursos hídricos (Hoekstra, 2010).

Para garantir a saúde e desenvolvimento da Humanidade é necessário manter quantidades de recursos hídricos adequados, tendo sempre em consideração que o consumo de água aumenta à medida que ocorre o desenvolvimento dos Países (SIDS, 2007). Em 2018, em Portugal Continental verificou-se um consumo de água de abastecimento pela rede pública de 610 033 m<sup>3</sup>, tendo ocorrido um decréscimo de 3,5% comparativamente ao ano anterior (PORDATA, 2020). Em Portugal continental, a agricultura é o setor que consome mais água, sendo que nem toda a água é aproveitada. Em 2013, o uso de água no setor da agricultura teve um consumo de 58% e um desperdício de 42%, no setor da indústria teve um consumo de água de 71% e desperdício de 29% e o uso de água para setor urbano teve um consumo de 58% e um

desperdício de 42% (Água, 2013). A figura 2.2. apresenta o consumo de água de cada setor em relação à quantidade de água desperdiçada.

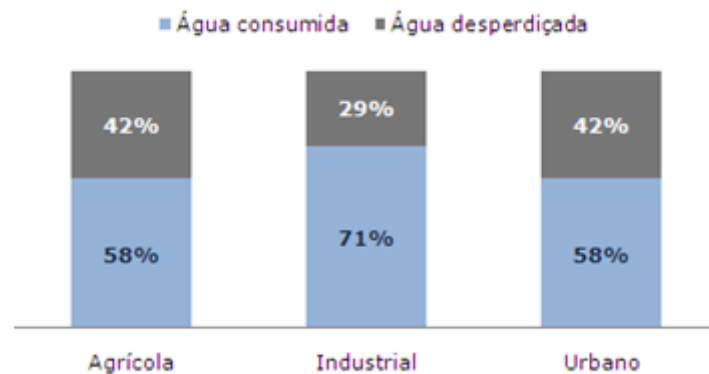


Figura 2.2. Utilização de água por setor (Água, 2013).

#### 2.4.3. Energia não renovável: Produção e consumo de energia primária

A energia não renovável é uma energia proveniente de uma fonte que acabará no futuro, em que se incluem os combustíveis fósseis, carvão, petróleo, gás e energia nuclear. Ao utilizar qualquer uma destas fontes para produção de energia elétrica contribui-se para alterações climáticas, aquecimento global e poluição atmosférica em resultado da emissão de gases poluentes e formação de resíduos perigosos (Sharif *et al.*, 2020). Como a produção não depende de condições climáticas, este tipo de energia obtém-se de forma fácil e rápida, mas é importante ter em consideração que é necessário que se mantenha este tipo de recursos para períodos em que não seja possível utilizar energia proveniente de fontes renováveis (EDP Comercial, 2020).

O impacto ambiental causado pelos combustíveis fósseis resulta das substâncias como o CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> que são emanadas pelas chaminés durante a sua queima. O aquecimento global e as chuvas ácidas fazem parte da panóplia de impactos resultantes deste processo e interferem essencialmente ao nível de ecossistemas, edifícios e saúde da população em geral. Durante a combustão de combustíveis fósseis são libertadas partículas que permanecem em suspensão, podendo provocar a diminuição massiva das trocas gasosas entre espécies vegetais e alterações negativas ao nível do sistema respiratório (EDP Comercial, 2020).

Existem ainda resíduos radioativos resultantes das centrais nucleares e que podem provocar alterações tecidulares e até mesmo cancro (EDP Comercial, 2020).

No primeiro trimestre de 2020, em Portugal a utilização de energia proveniente de fontes não renováveis fixou-se nos 41,14%: gás natural 22,81%, carvão 9,99%, cogeração fóssil 7,87% e resíduos sólidos urbanos 0,47% (EDP Comercial, 2020).

## 2.5. Estado da arte. Exemplos de estudo da sustentabilidade

Desde o século passado que a utilização de polímeros se tornou cada vez mais frequente. Existem diversos bens que o Homem produz, que apresentam materiais poliméricos na sua constituição e que são bastante úteis no nosso quotidiano, como por exemplo, sacos de supermercados, garrafas de bebidas, materiais de PVC, revestimento de latas de conservas, tintas, próteses, escovas de dentes, para-choques de veículos, cobertores, tapetes, pneus (Rosa *et al.*, 2002).

O petróleo foi durante muito tempo a principal fonte de matéria-prima para a produção de polímeros, mas foi necessário a procura por novas fontes de polímeros devido ao aumento do preço do petróleo e a preocupação com a poluição ambiental (Borschiver *et al.*, 2008).

O avanço da tecnologia levou à procura de materiais alternativos nas diversas vertentes industriais, de modo a promover um bom desempenho e diminuir os custos de produção. Assim sendo, o estudo de polímeros assumiu um papel de grande relevância (Borschiver *et al.*, 2008).

Deste modo, surgiu a ideia de utilização de polímeros biodegradáveis (Rosa *et al.*, 2002), que são produzidos através de fontes renováveis e são degradados facilmente na natureza (Sebio & Chang, 2003).

Landim, et al. (2016) realizaram um estudo da sustentabilidade relacionado com os vários tipos de embalagens existentes. Os autores concluíram que as embalagens para serem consideradas sustentáveis devem ser produzidas através de materiais provenientes de fontes ambientais renováveis e devem ser corretamente recicladas após a sua utilização, de modo a manter a sua sustentabilidade. Os polímeros de origem renovável, polímeros verdes são considerados sustentáveis porque a sua produção causa menor impacto ambiental face aos polímeros convencionais, devido à substituição dos recursos fósseis por fontes renováveis como cana de açúcar, milho ou celulose. Ao reciclar uma tonelada de polímero verde é possível diminuir a emissão de 1,5 toneladas de CO<sub>2</sub> face a um polímero convencional (Landim, *et al.*, 2016). Para esta determinação, os autores usaram uma metodologia que inclui o design da

embalagem de bens de consumo em movimento rápido, termo em inglês Fast-Moving Consumer Goods (FMCG), que considera o custo ecológico e o valor que a própria embalagem terá futuramente. Esta ferramenta necessita do conhecimento da quantidade de materiais utilizados para a fabricação, bem como dos processos de produção da embalagem para possibilitar o cálculo da carga ecológica e do custo do material utilizado. Deste modo, foi possível classificar as embalagens em termos de projeto de criação de valores de estética. O método simplificado usado baseia-se na comparação da classificação de custo ecológico, do custo do material e dos valores do projeto para determinar a classificação final do design da embalagem. Tendo em consideração o aspeto ambiental, o custo ecológico é calculado com base no carbono dos materiais utilizados e dos processos de fabrico. No mesmo estudo, os autores sintetizaram o polietileno de alta densidade (PEAD) de origem renovável usando cana de açúcar como matéria prima, permitindo uma diminuição, em cerca de 70%, do uso de combustível fóssil (petróleo ou gás natural) e uma redução aproximada de 170% na emissão de gases com efeito de estufa. Este decréscimo deve-se em parte ao facto da cana de açúcar remover CO<sub>2</sub> do meio ambiente durante o seu crescimento, o que a torna numa alternativa ideal para substituição de PEAD convencional para embalagens de produtos de grande consumo. (Landim, *et al.*, 2016).

Islam e Khan (2014) elaboraram um estudo com objetivo de avaliar a sustentabilidade ambiental de vestuário de marca fabricado no Bangladesh. A indústria têxtil é associada a diversos impactos ambientais negativos ao longo de todo o processo de produção. Os principais impactos ambientais resultam das emissões de águas residuais do processo de tingimento/acabamento/lavagem, produção de resíduos sólidos, elevado consumo de água e combustíveis fósseis. Para garantir um desenvolvimento sustentável os designers devem ter em consideração os impactos ambientais durante todo o processo de criação de um produto. A sustentabilidade de peças de vestuário é o aspeto mais fácil de alterar, porque as empresas têm controlo direto através do design e desenvolvimento de produtos, tais como, seleção de fibras/tecidos, métodos de processamento e estratégias de reutilização. A seleção de fibras/tecidos é o passo inicial para redução do impacto ambiental causado por uma peça de vestuário. Para a realização do estudo foram selecionadas t-shirts masculinas tamanho M de diferentes marcas, com composição 100% algodão. Para fazer a avaliação da sustentabilidade foi selecionado o índice de Higg. Este índice exige que todos os materiais sejam inseridos numa tabela de entrada, onde deve constar a descrição dos materiais utilizados e informações obtidas através de perguntas binárias. Estas perguntas, permitem avaliar cinco impactos ambientais,

tais como, potencial de aquecimento global, poluição de nutrientes na água, escassez de água, consumo de combustível fóssil, produtos químicos, onde se obtém uma pontuação que depois é comparada com a pontuação de índice de Higg de forma a obter o desempenho da sustentabilidade do produto e decidir as diligências necessárias para a sua melhoria. Importa frisar que quanto maior a pontuação obtida no índice de Higg melhor será o desempenho ambiental do produto. Neste estudo foram avaliados todos os parâmetros desde os materiais utilizadas, embalagens, modo de fabrico e fim de vida do produto. Desta forma, foi possível fazer uma autoavaliação da sustentabilidade de cada t-shirt (Islam & Khan, 2014).

Outro estudo realizado teve como objetivo analisar a sustentabilidade do cultivo de arroz, produzido por agricultores em Jambi, Indonésia (Frimawaty *et al.*, 2013). Um ponto importante na garantia da segurança alimentar é a capacidade de suprir as necessidades alimentares resultantes do crescimento exponencial da população humana. Na Indonésia, mais de 20% da população dedica-se ao cultivo de arroz, sendo um país conhecido como agrícola, mas não tem capacidade de praticar uma agricultura sustentável. A produção de arroz tem impactos ambientais devido à poluição dos solos, às emissões de gases de efeito de estufa e degradação ambiental na utilização do uso de fertilizantes e pesticidas. Este estudo foi realizado em três locais diferentes de Jambi. Para avaliar a sustentabilidade do cultivo de arroz foi utilizado o método de escalonamento multidimensional (MDS) (Frimawaty *et al.*, 2013). Este método refere-se a um conjunto de técnicas que permitem ao investigador identificar as avaliações feitas por parte dos consumidores, face a um determinado produto ou serviço. É feita a comparação de qualidades físicas, perceções e avaliação de diferenças culturais em diferentes grupos. O principal objetivo deste método é transformar as avaliações feitas pelos consumidores quanto à similaridade ou preferências em distâncias representadas num espaço dimensional, o que permite avaliar qual a perceção que os consumidores têm face a um produto ou serviço (Faria, 2006). Em Jambi, verificaram que um elevado número de agricultores não tinha habilitações escolares, dificultando a adoção de novas tecnologias pelos agricultores. O sistema de cultivo do arroz praticado é a agricultura convencional, onde se utiliza elevadas quantidades de produtos químicos. Cerca de 23,7% dos campos desta cultura apresentam restos de palha de arroz, que é prejudicial devido à sua posterior decomposição e consequente emissão de metano nos solos provocado o efeito de estufa. Foram ainda avaliadas as várias dimensões do índice de sustentabilidade, a dimensão ambiental, económica, sociocultural e tecnológica que são representadas pelos seguintes valores 48,25%, 40,83%, 40,97%, 10,46% respetivamente. Estes

valores permitiram concluir que o cultivo de arroz na Indonésia é pouco sustentável (Frimawaty *et al.*, 2013).

Pergola, *et al.*, (2020) avaliaram a sustentabilidade da cadeia de produção de composto verde a partir de resíduos agrícolas numa região do sul de Itália. Normalmente, os resíduos agrícolas nos campos são problemáticos de gerir, principalmente quando a produção é realizada de forma intensiva ou em estufa. Estes resíduos podem ser valorizados através da realização de compostagem, com a vantagem de valorizar grandes quantidades de resíduos agrícolas, produzindo um composto com qualidade para posteriormente ser reutilizado como fertilizantes nas culturas. As técnicas de compostagem necessitam de uma avaliação do custo ambiental, energético e económico, da construção da instalação e da sua gestão, sendo estes elementos fundamentais para avaliar a sustentabilidade do composto. Na compostagem foram utilizados resíduos leves e resíduos pesados. Consideram-se resíduos leves aqueles que apresentam na sua composição um teor de matéria seca inferior a 10%, como é o caso da alfaca. Os resíduos pesados caracterizam-se por apresentarem na sua composição um teor de massa seca acima de 10%, como por exemplo, casca de noz e resíduos de alcachofra. A produção de uma tonelada de compostagem com matérias-primas leves e pesadas emitiu cerca de 199 e 250 kg de CO<sub>2</sub>, necessitou-se de 1500 e 2000 MJ de energia e representou um custo de 98 e 162 euros, respetivamente. No caso de a análise considerar os custos económicos que resultam dos resíduos que são depositados no campo, a diminuição do uso de fertilizantes e a diminuição da água de irrigação, esta compostagem ainda será mais sustentável. O uso do próprio composto produzido, têm a vantagem de melhorar as condições ambientais e dos solos, bem como redução de matéria-prima externa, como fertilizantes e pesticidas, tornando assim uma Quinta mais sustentável (Pergola, *et al.*, 2020).



## Capítulo 3

### 3. Avaliação de ciclo de vida

A importância da proteção ambiental e dos impactos associados aos produtos tem vindo a crescer, levando ao desenvolvimento de métodos que permitam uma melhoria na compreensão e abordagem destes impactos, com vista produzir produtos mais sustentáveis para diminuir o impacto ambiental ao longo da sua vida (ANIET, 2020).

A avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta apropriada para avaliar as entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais associados a um produto ou serviço durante o seu ciclo de vida (ISO 14040, 2008). A perspetiva de ciclo de vida possibilita uma visão abrangente dos sistemas de produto, considerando-se um conceito fundamental para a sustentabilidade ambiental. O termo “ciclo de vida” possibilita abordar os impactos ambientais de produtos em todas as fases que a sua existência implica, desde a obtenção das matérias primas, passando pela produção do produto, o uso do produto, tratamento de fim de vida, podendo ter como destino a reutilização, reciclagem ou deposição final (Guinée, 2002).

Segundo a Norma ISO 14040, o processo ACV é uma abordagem sistemática composta por quatro fases fundamentais, esquematizadas na figura 3.1.

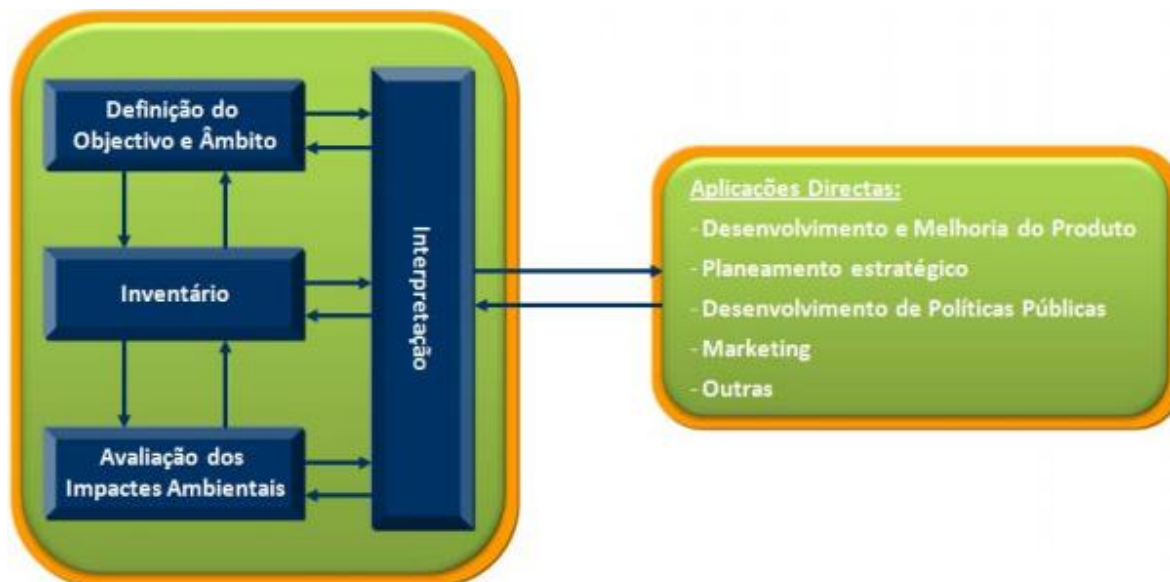


Figura 3.1. Fases de uma avaliação de ciclo de vida (adaptado de (ANIET, 2020)).

O objetivo e o âmbito de uma ACV (1ª fase), incluindo a fronteira do sistema e o nível de detalhe, depende da profundidade e da abrangência que se deseja na avaliação, do objetivo e do uso pretendido para o estudo.

A segunda fase da ACV consiste na análise de inventário do ciclo de vida (ICV). Trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Esta fase envolve a recolha dos dados necessários para alcançar os objetivos do estudo em questão.

A fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) tem por objetivo fornecer informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto para melhor compreensão da sua significância ambiental.

A última fase do estudo de ACV é a fase de interpretação do ciclo de vida, na qual os resultados de um ICV e de uma AICV, ou de ambos, são resumidos e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e âmbito.

Nos pontos subsequentes serão apresentadas de forma detalhada as fases de um estudo de ACV baseados nas normas ISO 14040, ISO 14044 e International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook (EC-JRC, 2010).

### 3.1. Definição de objetivo e do âmbito

#### 3.1.1. Definição de Objetivo

O objetivo é a primeira componente de uma ACV, quer seja um estudo limitado ao desenvolvimento de um conjunto de dados ou num estudo de ACV completo. A definição do objetivo é fundamental em todas as fases da ACV, porque orienta todos os aspetos definidos no âmbito, o controlo de qualidade depende dos requisitos definidos no objetivo do trabalho e os resultados da ACV são interpretados e avaliados em relação com o objetivo em estudo.

Durante a definição dos objetivos da ACV devem ser abordados os seguintes parâmetros:

- Aplicação pretendida dos resultados;
- Razões para a realização do estudo e contexto de decisão;
- Público alvo do estudo;
- Se é um estudo comparativo a ser divulgado ao público.

#### 3.1.1.1. Aplicações pretendidas

A definição de objetivo deve evidenciar de forma clara e inequívoca as aplicações usadas para a análise do ACV.

Exemplos de aplicações mais frequentes são:

- Análise do ponto fraco de um produto específico;
- Ecodesign detalhado/ Design para reciclagem.

Estas aplicações podem ser aplicadas individualmente ou combinadas com estudos de custo, fatores sociais e outras informações ambientais complementares.

Há, no entanto, estudos metodológicos em que há necessidade de um maior grau de liberdade, e por isso sem relação ao suporte à decisão e contabilidade/controlo sobre o objeto de estudo, ou seja, não têm apoio nas aplicações anteriormente definidas (EC-JRC, 2010).

#### 3.1.1.2. Razões para a realização do estudo e contexto de decisão

Este parâmetro de elevada relevância no estudo, pretende definir a direção e a motivação do estudo, identificando o contexto de decisão.

O contexto de decisão é um conceito que determina métodos mais adequados para o modelo de ICV, como também determina outros aspetos da definição do âmbito, das decisões ao longo da recolha dos dados, no cálculo na avaliação de impacte e na interpretação dos resultados na ACV.

#### 3.1.1.3. Público alvo

Um grupo específico de consumidores ou organizações que apresentem um perfil semelhante denomina-se publico alvo. Para traçar um perfil é necessário realizar um vasto conjunto de pesquisas, por exemplo, hábitos de consumo, comportamentos de compra, classe social, entre outras. Quanto maior a quantidade de informações obtidas, mais verídico e completo será o perfil e assim maior a probabilidade de manter um bom negócio entre a empresa e o cliente (Magalhães, 2020).

#### 3.1.1.4. Comparação destinadas a serem divulgadas ao público

Os estudos ACV baseiam-se nas normas na NP ISO 14040 e NP ISO 14044, garantindo assim a aplicação de requisitos obrigatórios que permitem estimar os potenciais riscos para empresas e consumidores aquando da divulgação de um determinado produto.

#### 3.1.2. Definição de âmbito

O âmbito da ACV é resultante do seu objetivo e inclui os seguintes parâmetros:

- O sistema de produto a estudar e suas funções, unidade funcional e fluxo de referências;
- Fronteira do sistema;
- Categorias de impacte e metodologias de avaliação de impacte;
- Requisitos dos dados das informações;
- Pressupostos e limitações;
- Requisitos da qualidade dos dados iniciais;
- Detalhe do transporte para distribuição dos produtos e de resíduos;
- Descrição da gestão de resíduos e do fim de vida;
- Identificação de necessidade de revisão crítica;
- Planeamento do relatório de resultados.

Tendo em consideração que explicar cada um destes parâmetros se tornaria bastante extenso, optei por escolher 3 que se encontram descritos nos pontos 3.1.2.1 até 3.1.2.3, por considerar que são aqueles que melhor se enquadram neste estudo, porque definem as entradas e saídas de um sistema de produtos, que inclui os processos unitários tais como a obtenção da matéria prima, destino dos resíduos e tratamento de fim de vida.

##### 3.1.2.1. Função, unidade funcional e fluxo de referências

A unidade funcional e o fluxo de referências são dois parâmetros fundamentais no estudo da ACV. O fluxo de referência é o fluxo quantitativo de entradas e saídas referente à unidade funcional definida. A unidade funcional é a referência para a quantificação de um sistema de produtos onde se refere como base na realização do estudo de ACV.

Para definir inicialmente a unidade funcional é necessário identificar e quantificar as propriedades importantes do desempenho técnico do sistema. Deste modo, deve conter aspetos quantitativos e qualitativos para os resultados não serem discrepantes na definição dos produtos. Os aspetos quantitativos do produto baseiam-se nas componentes obrigatórias do produto, enquanto que os aspetos qualitativos se relacionam com a opinião do utilizador.

### 3.1.2.2. Fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema definem as partes do ciclo de vida e os processos a incluir no sistema em análise, sendo necessários para a determinação da sua função definida na unidade funcional. É um parâmetro importante para que todos os processos sejam incluídos no sistema e para que os potenciais impactes ambientais sejam contabilizados. A escolha de elementos do sistema físico depende do objetivo e do âmbito, da aplicação e do público alvo, dos pressupostos, das restrições de dados e custos e dos critérios de exclusão. Os pressupostos e os critérios de exclusão utilizados deverão ser definidos e compreendidos aos modelos utilizados.

A fronteira do sistema deve incluir processos unitários e fluxos, tais como:

- Obtenção de matérias-primas;
- Entradas e saídas na sequência principal de fabricação e processamento;
- Distribuição e transporte;
- Produção e recurso a combustíveis, eletricidade e calor;
- Manutenção e utilização de produtos;
- Destino dos resíduos do processo e de produtos em fim de vida;
- Recuperação de produtos utilizados (Reutilização/Reciclagem/Recuperação de energia);
- Fabrico de materiais auxiliares;
- Fabrico, manutenção e desafetação do equipamento;
- Operações adicionais (iluminação e aquecimento).

### 3.1.2.3. Requisitos da qualidade dos dados iniciais

Os requisitos da qualidade dos dados devem especificar as características satisfazendo o objetivo e o âmbito da ACV em estudo. As descrições são importantes para entender e interpretar os resultados do estudo.

Assim, os requisitos da qualidade dos dados deverão abordar a característica:

- Temporal: o período temporal usado para a recolha de dados deve ser o menor possível;
- Geográfica: local onde devem ser recolhidos os dados dos processos unitários, de forma a satisfazer o objetivo do estudo;
- Tecnológica: combinação/especificação de tecnologias;
- Fidelidade: variabilidade dos valores para cada dado (variância, desvio padrão, etc);
- Integralidade: fluxo percentual que é medido;
- Representatividade: o conjunto de dados é avaliado qualitativamente;
- Consistência: A aplicação das metodologias do estudo é avaliada qualitativamente;
- Reprodutibilidade: é feita uma avaliação qualitativa da metodologia, que permite que os dados reproduzam os resultados do estudo;
- Fonte de dados;
- Incerteza de informação: modelos e pressupostos.

## 3.2. Inventário do ciclo de vida

Consiste em procedimentos de recolha de dados e permite a quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto.

A realização de um inventário é um procedimento iterativo. Conforme os dados são recolhidos e se aprende mais sobre o sistema, poderão ser reconhecidos novos requisitos ou limitações que imponham alterações nos procedimentos de recolha de dados. Em alguns casos, podem ser identificados aspetos que impliquem a revisão do objetivo ou do âmbito do estudo.

Para realizar um ICV deve ser seguido o procedimento apresentado na figura 3.2.

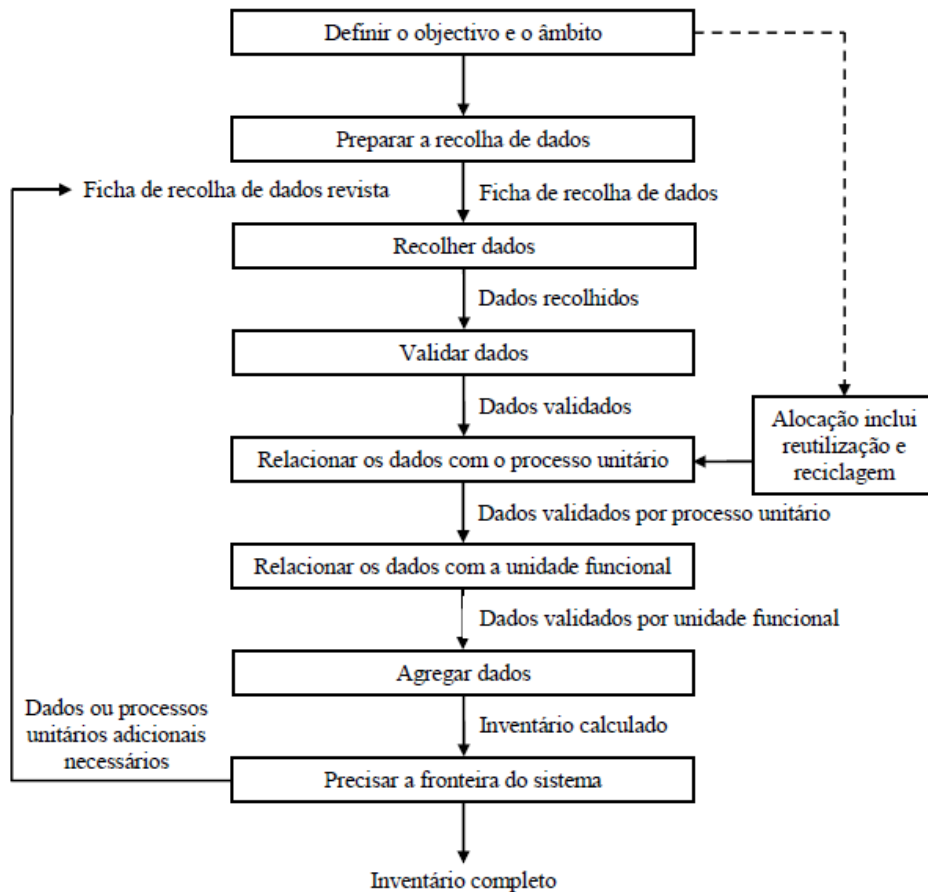


Figura 3.2. Procedimento para realização do inventário (Adaptado de (ISO 14044, 2010).

Após a definição do objetivo e o âmbito, é feita a recolha de dados de forma a quantificar entradas, saídas, produtos, coprodutos, resíduos, emissões para a atmosfera e descargas de efluentes, estes dados são posteriormente validados. De seguida, é feita a alocação, processo que consiste na relação entre o objetivo e o âmbito com o processo unitário dos dados validados. Todos os dados são agregados de forma a que seja possível obter o inventário completo.

### 3.3. Avaliação de impacte do ciclo de vida

A AICV avalia os potenciais impactes ambientais de acordo com os resultados do ICV. O objetivo é avaliar o sistema de produto na perspetiva ambiental recorrendo a indicadores e categorias de impacto associadas ao ICV. Esta fase avalia a importância das intervenções ambientais contidas no ICV, onde agrega os dados obtidos no inventário de forma a facilitar a sua interpretação. Na figura 3.3, apresentam-se os elementos fundamentais da fase de AICV.

## AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA

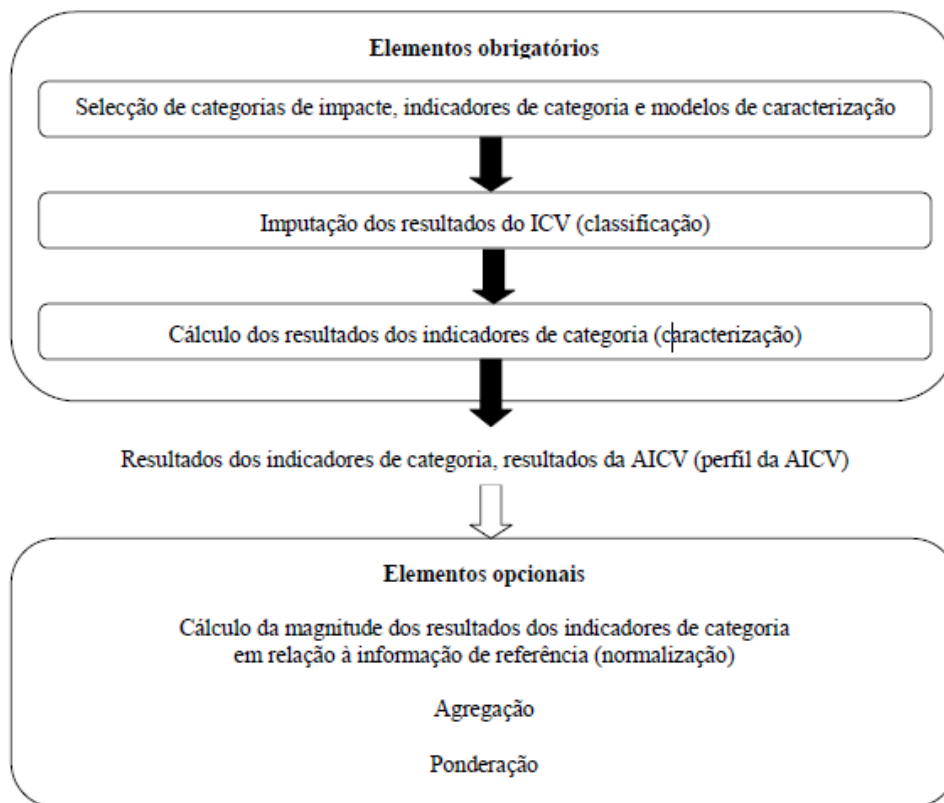


Figura 3.3. Elementos da fase de AICV (adaptado de (ISO 14040, 2008)).

Na AICV são abordadas apenas questões ambientais específicas do objetivo e do âmbito, sendo esta uma limitação bastante acentuada uma vez que deste modo não é possível estabelecer fronteiras entre todos os processos unitários do produto na fase do ICV. Esta limitação de dados causa incerteza ao longo do processo de produção do produto.

### 3.4. Interpretação do ciclo de vida

A interpretação é a última fase do ACV na qual os resultados do inventário e da avaliação de impacte se juntam para fornecer resultados benéficos de acordo com o objetivo e âmbito. Na figura 3.4. é apresentada a relação da fase de interpretação com as outras fases da ACV.

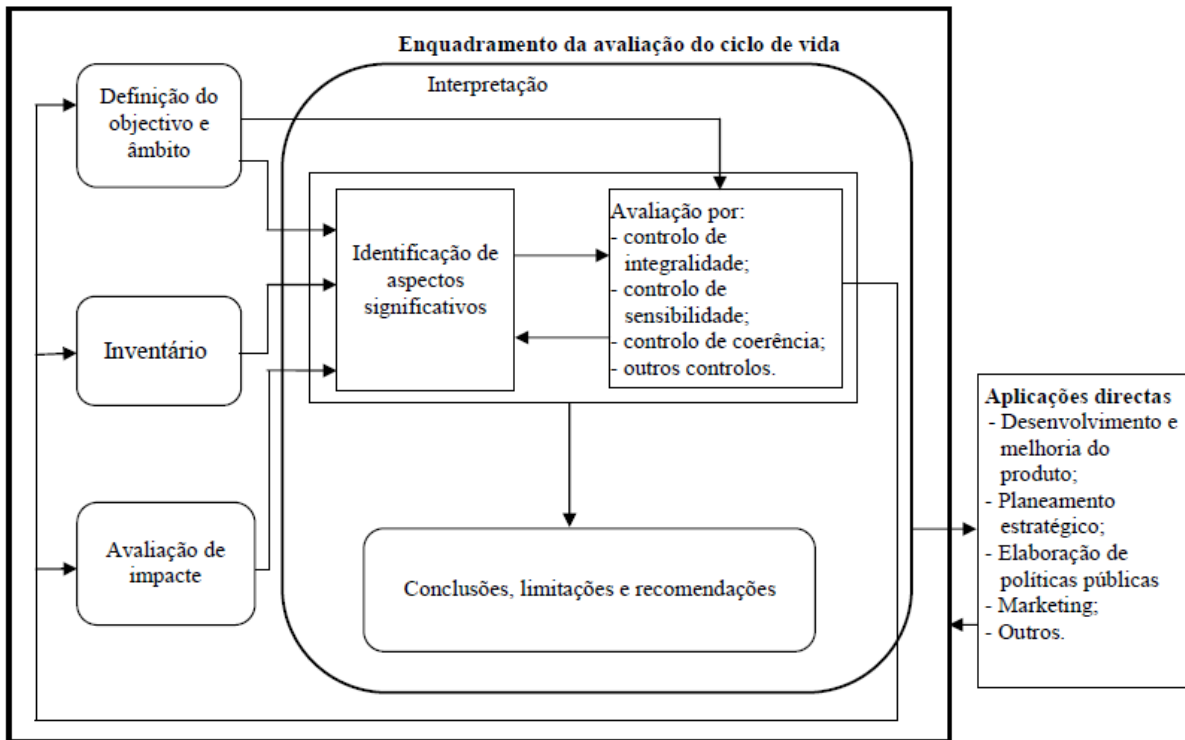


Figura 3.4. Relação entre os elementos da fase de interpretação com as restantes fases da ACV (adaptado de (ISO 14040, 2008)).

### 3.4.1. Avaliação

A avaliação deve estabelecer e melhorar os resultados de estudo da ACV ou do estudo ICV, melhorando a fiabilidade, fornecendo uma visão clara e compreensível do estudo. Durante a avaliação, deve ser efetuado o controlo de integralidade, de sensibilidade e de coerência, detalhados na NP ISO 14044. Nesta seção, deve interpretar os resultados recolhidos ao longo do estudo e avaliar conforme o objetivo e o âmbito estabelecidos.

### 3.4.2. Conclusões, limitações e recomendações

Tem como objetivo retirar conclusões, identificando limitações e recomendações necessárias para o público alvo.

A conclusão do estudo deve identificar os aspetos significativos e avaliar os resultados para a integralidade, a sensibilidade e coerência. Durante as conclusões é necessário verificar se são coerentes com os requisitos do objetivo e do âmbito e caso se verifique serão descritas como conclusões.

As recomendações são relacionadas com a aplicação pretendida e com as conclusões do estudo, refletindo uma consequência lógica das conclusões.

## Capítulo 4

### 4. Material em estudo

#### 4.1. Casca de arroz

O arroz é o segundo cereal mais cultivado e consumido em todo o mundo, depois do trigo com produção anual de 700 milhões de toneladas (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2002). Entre 1992-2011 a Europa apresentou uma produção de 0,55%, sendo a Ásia o maior produtor com 90,93% da produção mundial de arroz (Almeida & Marques, 2013).

Na Europa, a Itália e a Espanha são responsáveis por cerca de 80% da produção total de arroz. A Itália é o principal produtor, apresentando uma superfície total cultivada de 220.000 *ha*, a produção é essencialmente feita nas regiões de Piemonte, Lombardia, Veneto e Emília Romana. A Espanha é o segundo maior produtor, produzindo cerca de 117.000 *ha*, sendo que nas regiões de Andaluzia e Valência a produção é maior devido à maior quantidade de água disponível para a produção (Moliner *et al.*, 2020).

Em Portugal, a área de produção de arroz aumentou desde 2007 até 2011, bem como a sua produtividade. Após 2011 a área de produção registou uma diminuição, mas a produtividade manteve-se relativamente constante. Na figura 4.1., é apresentada a área de produção e a produtividade de arroz em Portugal entre 2007 e 2018.

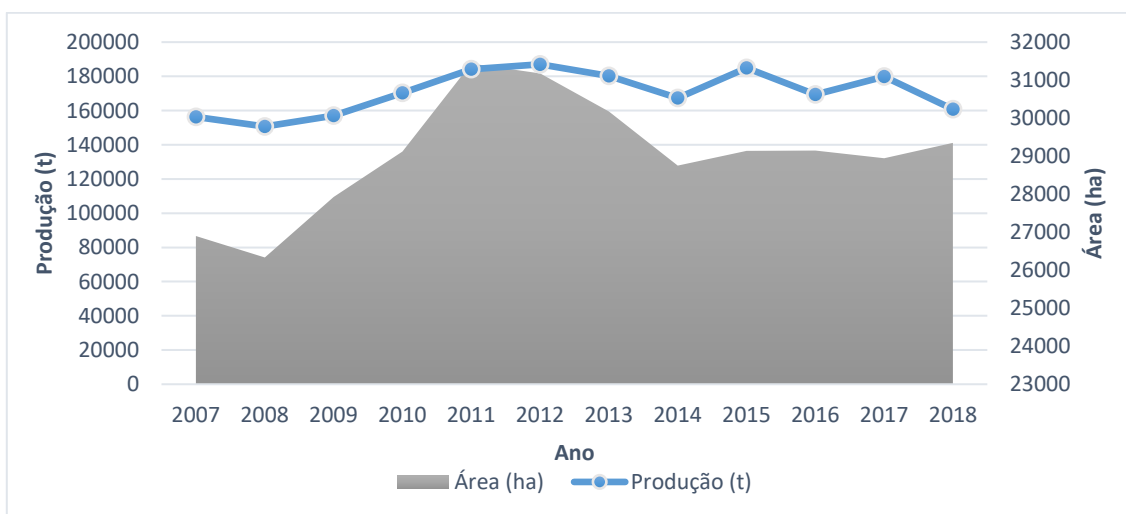


Figura 4.1. Área de produção e produtividade de arroz em Portugal entre 2007 e 2018 (INE).

Para a obtenção de arroz como produto final é necessário ultrapassar diversos processos de fabrico a partir da planta de arroz. A planta de arroz é colhida, separa-se a palha do arroz (em casca) e este último é colocado a secar para ser armazenado. Posteriormente o processo da moagem origina a casca e o farelo como resíduos e o produto final que é o desejado arroz moído (By-products, s.d.). A figura 4.2. apresenta de forma ilustrativa os processos de produção de arroz e dos diversos subprodutos.

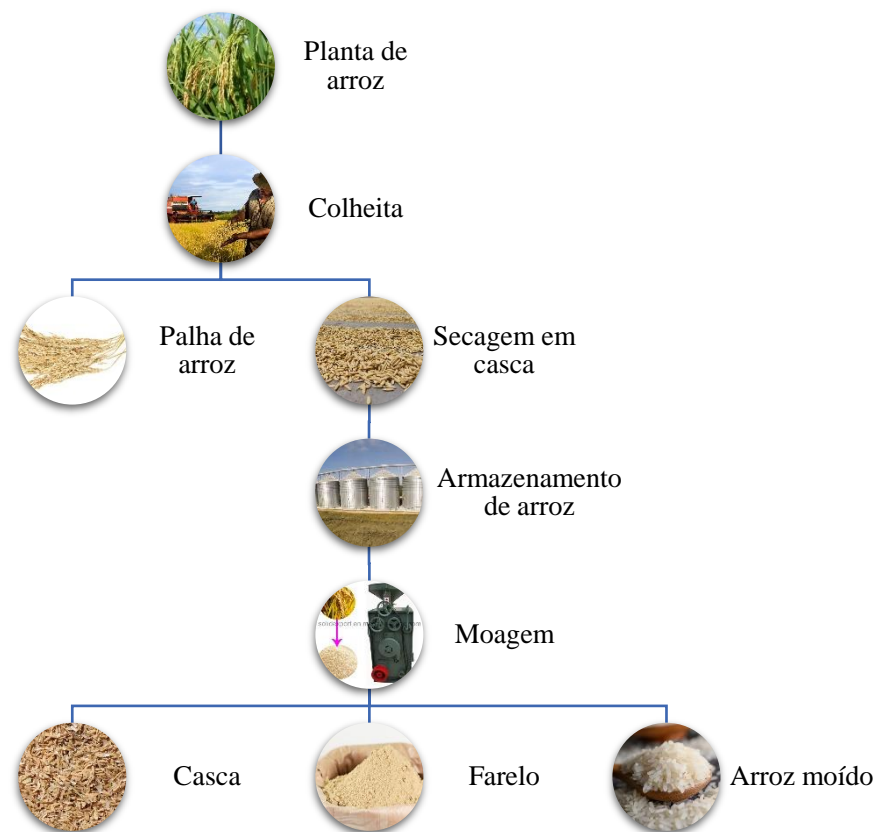


Figura 4.2. Processos de produção de arroz e subprodutos (By-products, s.d.)

Como foi referido anteriormente ao longo das etapas/processo de produção de arroz são gerados três subprodutos: a palha, a casca e o farelo de arroz. A palha de arroz surge do que resta da planta e da debulha dos grãos, as cascas resultam do processo de moagem quando o arroz é descascado e o farelo é gerado no polimento quando a superfície de farelo é retirada do arroz (By-products, s.d.).

Durante a produção de arroz, a casca é o subproduto gerado em maior abundância, representando cerca 23% da produção total de arroz (Sarnklong *et al.*, 2010). Na tabela 4.1., apresenta-se a quantidade de casca gerada na produção de arroz de 2007 até 2018 em Portugal.

Tabela 4.1. Produção de arroz de 2007 até 2018 e subproduto gerado ao longo do processo de produção.

Ano	Produção (t)	Casca de Arroz (t)*
2007	156 203	35 926,7
2008	150 680	34 656,4
2009	156 952	36 099,0
2010	170 216	39 149,7
2011	184 087	42 340,0
2012	187 028	43 016,4
2013	180 155	41 435,7
2014	167 322	38 484,1
2015	184 918	42 531,1
2016	169 289	38 936,5
2017	179 777	41 348,7
2018	160 794	36 982,6

\*Conversão: Casca de arroz = 23% x Produção (Sarnklong *et al.*, 2010)

A casca de arroz é classificada industrialmente como um resíduo agrícola. Apresenta na sua constituição 25-35% de celulose, 18-21% de hemicelulose, 26-31% de lenhina, 15-17% de sílica, e 7,5% de humidade (Thudaji & Nuntiya, 2008). A massa específica da casca é relativamente baixa, 1,60 g/cm<sup>3</sup>, e pelo que ocupa um volume elevado (Campos, 2016).

As cascas de arroz são maioritariamente utilizadas em centrais de energia elétrica e como combustíveis domésticos. Para além destas aplicações podem ser valorizadas como fertilizantes na agricultura (Boateng & Skeete, 1990), como aditivos para a produção de betão e cimento de Portland (Chowdhury *et al.*, 2015). No entanto, o baixo teor em proteínas e alto teor em silício prejudica a sua decomposição tornando-a mais lenta (Boateng & Skeete, 1990). O alto teor em silício, torna-se uma fonte para obtenção de sílica e vários compostos de silício (Traoré *et al.*, 2018), tais como carbonato de silício e nitrato de silício (Smallwood, 1944). Na Figura 4.3., são apresentadas esquematicamente algumas aplicações e processos de conversão da casca de arroz.

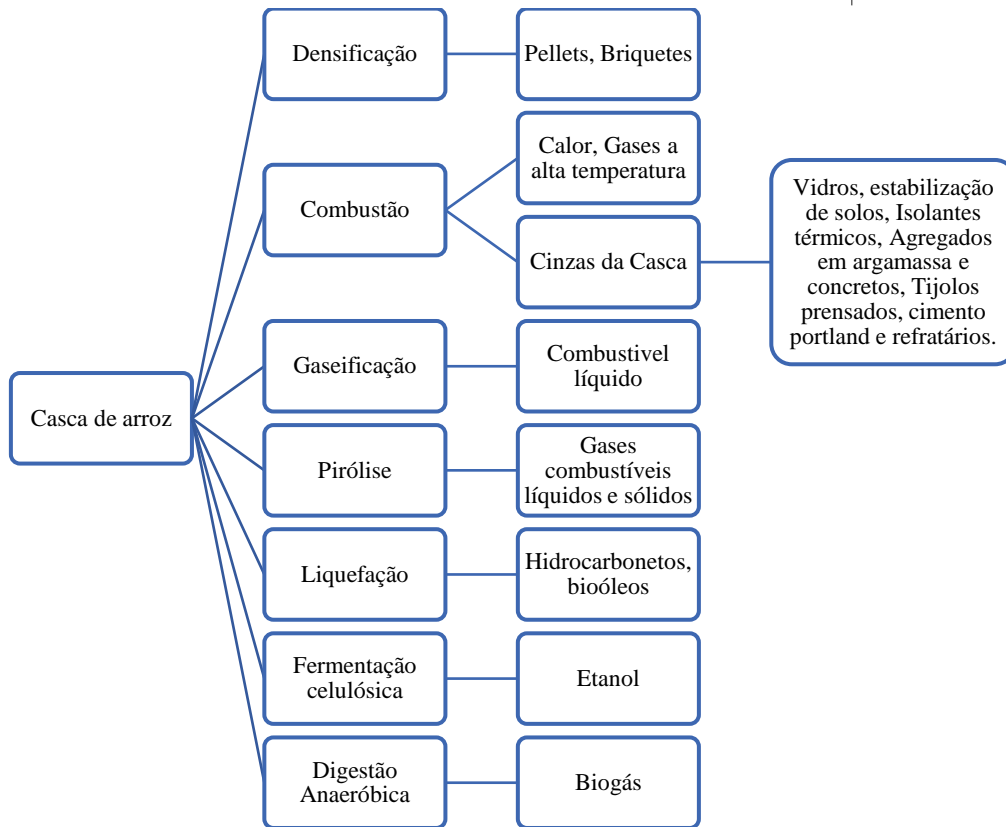


Figura 4.3. Algumas aplicações e processos de conversão da casca de arroz (Della *et al.*, 2001) (Campos, 2016).

Atualmente a comunidade científica tem tentado desenvolver estudos que permitam perceber como se pode reutilizar e valorizar comercialmente a casca de arroz. Apesar dos resultados ainda serem bastante escassos, está a ser investigada a possibilidade de incorporar a casca de arroz em produtos de sola de borracha SBR. Desde logo, estes estudos poderão fornecer soluções alternativas às empresas produtoras de arroz para a reutilização de um resíduo proveniente do seu processo de produção, melhorando assim a sua sustentabilidade.

## Capítulo 5

### 5. Parte Experimental

#### 5.1. Avaliação do ciclo de vida da sola de borracha

O estudo desenvolvido teve como objetivo avaliar a sustentabilidade da incorporação de casca de arroz em solas produzidas a partir de borracha de butadieno estireno (SBR). A casca de arroz é um subproduto resultante da indústria alimentar, que ao ser incorporado numa sola de borracha permite a reutilização deste resíduo, proporcionando-lhe um fim de vida útil e com possibilidade de tornar este produto mais sustentável.

O ciclo de vida da sola de borracha SBR inicia-se com a escolha das matérias-primas necessárias para o processo de produção deste produto, posteriormente serão utilizadas até atingir o seu fim de vida, onde será incinerada ou transformada em resíduo. As matérias-primas usadas na produção de sola de borracha SBR são as convencionais (butadieno, estireno, inertes e outros orgânicos), às quais será incorporada casca de arroz em percentagens definidas. O processo de produção da borracha inclui três fases: mistura, provetagem e vulcanização. As placas de borracha são ainda sujeitas a um processo de calibração de espessura por lixagem. Posteriormente, a placa de borracha será transformada em solas para calçado que, por sua vez, serão comercializados e adquiridos pelo consumidor final na forma de calçado. No fim de vida, a sola integrando o calçado é tratada como um resíduo cujo destino é ser depositado em aterro ou eventualmente incinerado.

A avaliação completa do ciclo de vida foi realizada através de uma análise *cradle-to-grave*. Esta análise permite caracterizar os fluxos de materiais, impactes ambientais e energia em todas as suas fases de vida, desde a extração da matéria-prima, geração de energia, produção de materiais, fabrico, utilização, reciclagem e destino final (Figueiredo *et al.*, sd.).

A ACV das solas encontra-se dividida em 3 fases: Produção, utilização e fim de vida. Na fase da produção é feita a extração e processamento das matérias primas. A fase de utilização da sola compreende a sua aplicação no calçado e posterior utilização pelo consumidor final, não estando por isso associados gastos económicos ou energéticos em relação à utilização singular da sola. O fim de vida das solas depende da constituição da própria sola. No caso de uma sola de borracha de SBR, constituída essencialmente por polímeros sintéticos, o fim de

vida significa que as solas de borracha são incineradas ou seguem para deposição em aterros.

A figura 5.1 apresenta esquematicamente o ciclo de vida da sola de borracha SBR.

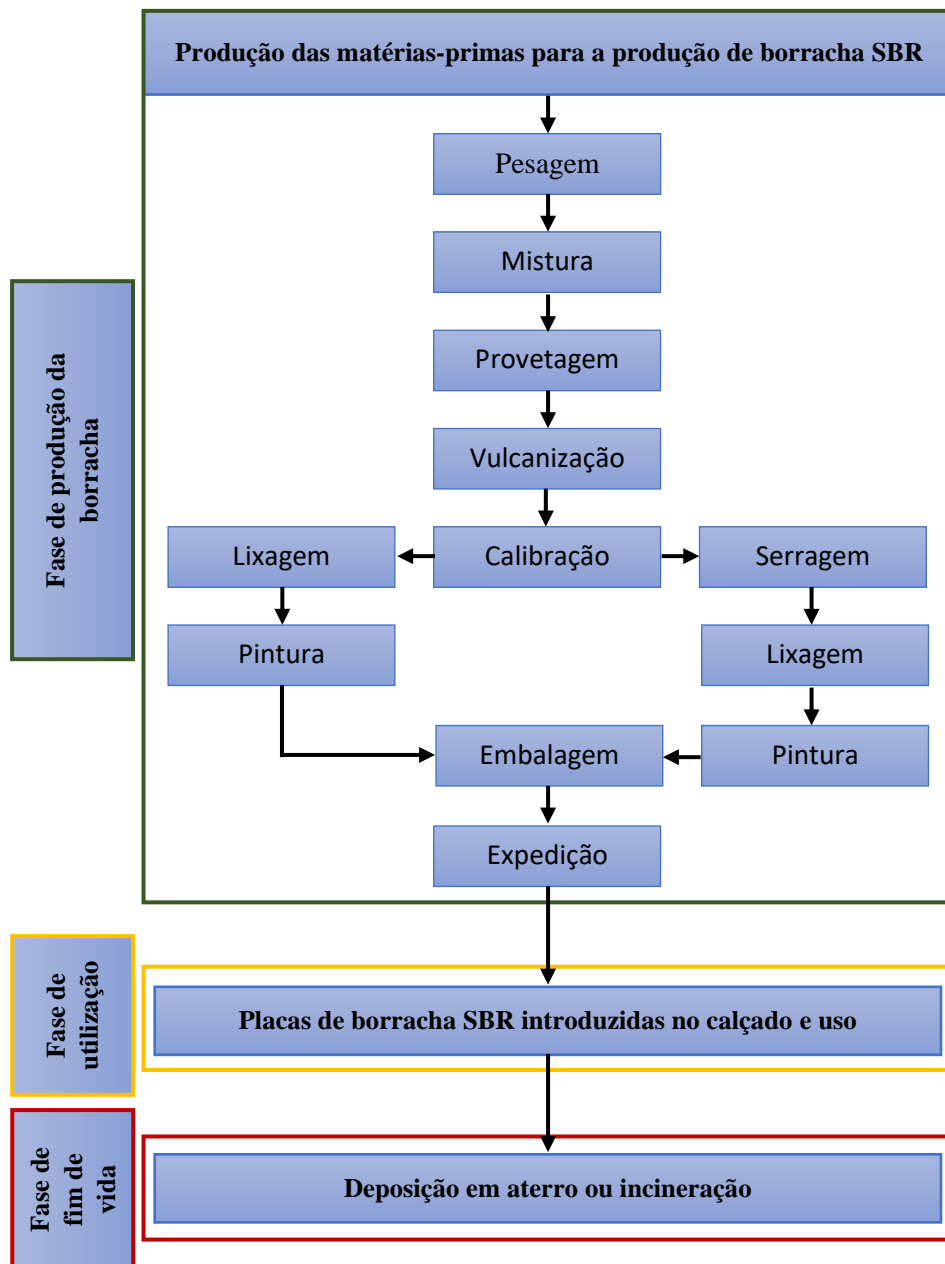


Figura 5.1. Ciclo de vida da sola de borracha SBR.

Um dos objetivos do trabalho realizado visou a comparação da sustentabilidade da sola SBR com e sem a incorporação de casca de arroz, um subproduto de outra indústria. Para fazer uma correta avaliação de alguns indicadores de sustentabilidade, nomeadamente a emissão de gases com efeito de estufa, pegada hídrica e biodegradabilidade, torna-se necessário avaliar a

sola antes e após a incorporação do resíduo e analisar comparativamente todos os parâmetros relevantes.

O ciclo de vida da sola de borracha SBR com incorporação da casca de arroz será semelhante ao ciclo de vida da sola de borracha SBR convencional apresentado na figura 5.1, exceto nas implicações devidas à alteração das matérias-primas, onde será reduzida a quantidade de matérias-primas convencionais para introduzir 40% de casca de arroz.

Ao longo do ciclo de vida da sola de borracha SBR existem alguns impactos ambientais, onde a produção das matérias primas é umas das fases com elevado impacto ambiental. Durante o processo de produção da sola há emissões de gases com efeito de estufa devido aos consumos energéticos de eletricidade e gás natural. Por fim, no fim de vida da sola, no caso de ser incinerada irá libertar gases de efeito de estufa e na situação de ser colocado em aterros terá impacto ambiental no que diz respeito ao solo e ao meio ambiente.

#### 5.1.1. Etapas do processo de produção

Integrando a fase de produção do ciclo de vida, o processo produtivo compreende as etapas que se descrevem seguidamente.

##### Pesagem

A pesagem das matérias-primas é uma etapa inicial do processo de produção onde é efetuada a preparação e a dosagem nas proporções corretas de acordo com a composição da sola de borracha que se pretende produzir.

##### Mistura

A mistura é uma das etapas onde se realiza a mistura de todas as matérias primas, anteriormente pesadas, que constituem a borracha. O processo envolve um misturador interno e misturadores abertos. As adições das matérias-primas têm de ser controladas, bem como do tempo de mistura de cada constituinte que depende do elastómero que se produz, uma vez que estes fatores irão alterar as propriedades da borracha.

## Provetagem

A provetagem é efetuada numa extrusora continuamente, onde a mistura é homogeneizada e forçada através de uma abertura para adquirir forma da placa desejada.

## Vulcanização

A etapa de vulcanização tem como objetivo unir as cadeias poliméricas individuais para se obter uma rede elástica tridimensional, promovendo a formação de ligações químicas cruzadas ao longo da cadeia. As ligações formadas estão relacionadas com o melhoramento das propriedades físicas que se pretende obter no estado final da borracha. Neste caso, o processo utiliza enxofre sob a ação de calor e pressão para promover a reticulação polimérica, como é demonstrado na figura 5.2.

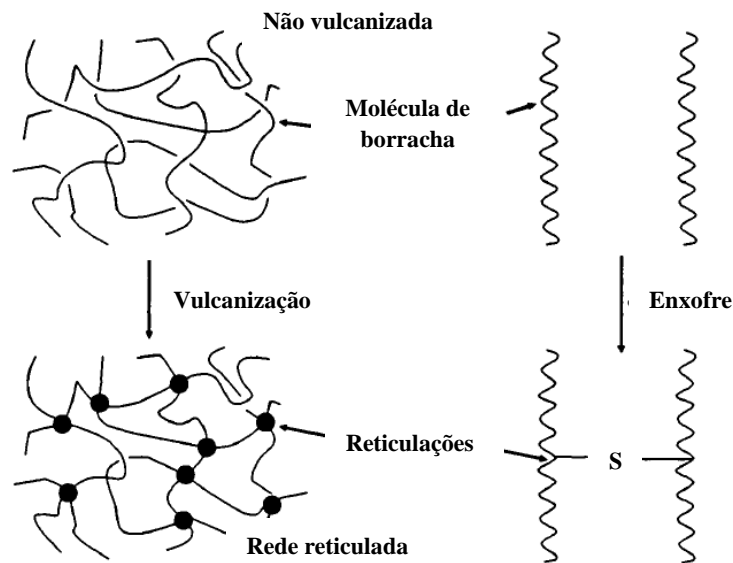


Figura 5.2. Processo de vulcanização da borracha (Coran, 1994).

A vulcanização das placas de borracha é realizada por moldagem por compressão, utilizando prensas hidráulicas aquecidas por vapor de água. Os provetes provenientes obtidos na fase precedente na extrusão são introduzidos na prensa que contém o molde da forma e tamanho correspondentes à placa de borracha desejada. A prensa opera entre 150°C e 160°C a uma pressão controlada de 12 MPa. A duração do processo de vulcanização depende da espessura, dos constituintes e do molde da borracha a vulcanizar.

## Calibração

O processo de calibração consiste na igualização da espessura e pode envolver a serragem e a lixagem. A serragem tem a função dividir pela espessura a placa em duas ou mais placas, cortando-as por meio de uma lâmina. A lixagem tem a função de uniformizar a espessura das placas de borracha e simultaneamente cardar a superfície a fazer aderir na montagem do calçado, por forma a preparar a adequada aderência.

## 5.2. Estudo da Sustentabilidade

### 5.2.1. Estudo de alguns indicadores de sustentabilidade da sola de borracha SBR

Para a elaboração do estudo da sustentabilidade da sola de borracha SBR, é necessário analisar e estudar todo o seu ciclo de vida desde a obtenção da matéria-prima, da sua produção até ao seu fim de vida. Esta análise debruça-se inicialmente na criação do produto, onde são definidas as matérias primas, consumos e emissões de gases de efeito de estufa, de modo a avaliar o seu impacto ambiental.

#### 5.2.1.1. Análise das emissões na obtenção da matéria-prima

A sola de borracha SBR contém alguns componentes como matéria prima, sendo que o principal é o polímero SBR, que representa 68% dos constituintes. A tabela 5.1. apresenta a composição dos monómeros e dos restantes constituintes da sola SBR.

Tabela 5.1. Constituintes da sola de borracha SBR e a respetiva composição.

Sola de borracha SBR	Constituintes	Composição (%)
	Butadieno	38
	Estireno	30
	Inertes (Sílica e ZnO)	27
	Outros orgânicos (PEG e ácido esteárico e aceleradores)	5

Os monómeros usados para a produção do polímero são obtidos a partir do petróleo, sendo este um recurso não renovável e considerado como uma fonte de inúmeros poluentes para o meio ambiente. O petróleo é uma mistura natural constituída especialmente por hidrocarbonetos

no estado sólido, líquido ou gasoso à pressão e temperatura ambiente. É originado nas bacias sedimentares através da acumulação de matéria orgânica e de sedimentos inorgânicos na ausência de oxigénio. Geralmente a acumulação acontece no fundo dos lagos e nos oceanos devido à ausência de movimentações e de correntes (Ecofys, 2009).

As rochas ricas em querogénio, quando sujeitas a temperaturas e pressões elevadas, transformam-se em hidrocarbonetos e em moléculas complexas, surgindo assim o petróleo. O petróleo apresenta uma renovação na natureza quase nula, tornando-se assim finito à medida que é consumido pelo Homem (Ecofys, 2009).

Para demonstrar que é um recurso não renovável e finito, é importante a realização da análise da evolução da produção e do consumo de petróleo a nível Mundial e estimar o consumo para o futuro, de modo a prever a duração do recurso. A figura 5.3., apresenta a produção e o consumo de petróleo a nível mundial, relativo ao período entre 1990 e 2018.

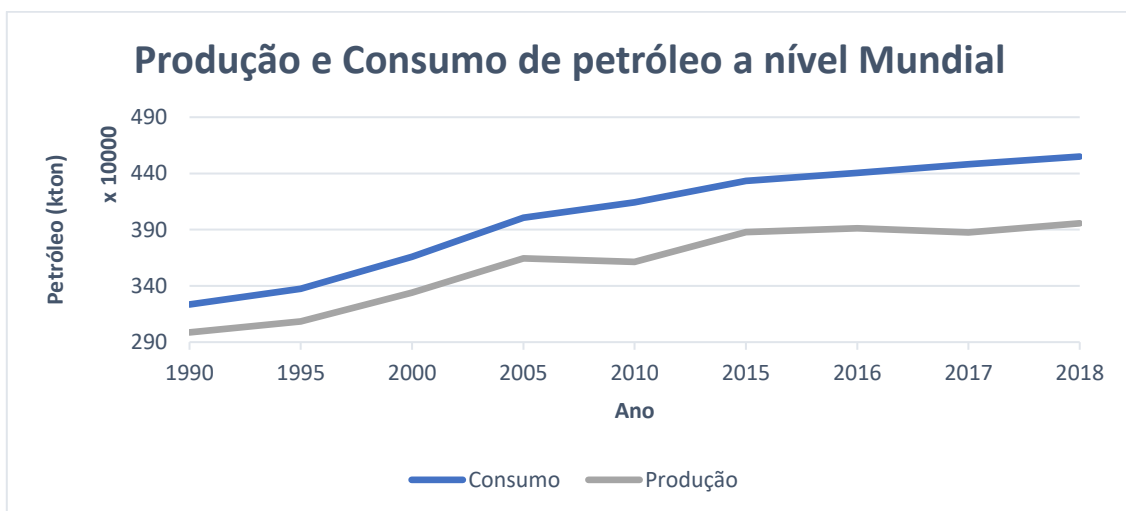


Figura 5.3. Produção e consumo de petróleo a nível Mundial, no período entre 1990 até 2018 (IEA, 2019).

Como podemos observar na figura 5.3., a produção e consumo de petróleo tende a aumentar desde 1990 até 2018, verificando um aumento médio de cerca de 1,2% de consumo de petróleo. Um problema apresentado é o consumo ser relativamente equiparado à produção, tornando um problema a longo prazo por ser um recurso escasso. É também prejudicial para ambiente devido a possíveis catástrofes ambientais, especialmente em derrame de petróleo para o meio ambiente, principalmente em alto mar, onde irá contaminar a água.

A figura 5.4 apresenta uma estimativa da Energy Information Administration representativa do consumo de petróleo entre 2015 e 2050, que permite verificar a tendência crescente do consumo anual de petróleo a nível mundial.

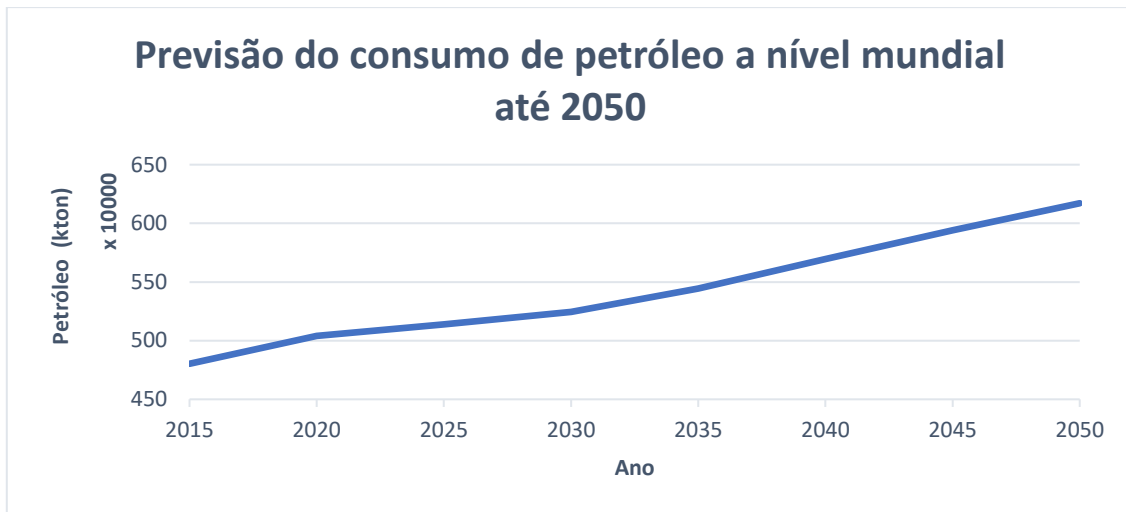
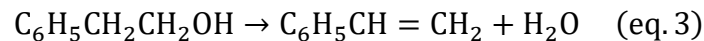
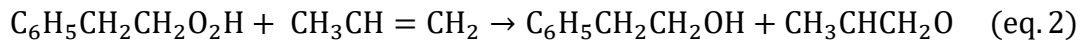
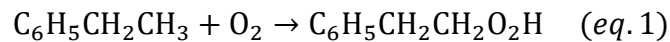


Figura 5.4. Previsão do consumo de petróleo a nível Mundial desde 2015 até 2050 (eia, 2017).

A previsão de consumo mundial de petróleo indica que o consumo deverá aumentar entre 2015 e 2050, com um forte contributo de países ditos não desenvolvidos, onde se espera um aumento da população e do desenvolvimento económico que terá como consequência maiores consumos energéticos (Ecofys, 2009).

Anualmente, a União Europeia produz aproximadamente 4,5 milhões de toneladas do monómero estireno (European Commission, 2009). É um hidrocarboneto aromático utilizado numa grande variedade de materiais poliméricos. Grande parte do estireno produzido é para produção de poliestireno, utilizado para embalagens por exemplo de preservação de alimentos. O monómero de estireno pode ser produzido por desidrogenação do etilbenzeno ou via hidroperóxido de etilbenzeno. A produção do estireno por desidrogenação do etilbenzeno é realizada por mistura de etilbenzeno, em fase gasosa, com 10-15 vezes o seu volume em vapor de água a elevadas temperaturas num leito de catalisador sólido (European Commission, 2009). Normalmente, a produção do monómero de estireno consiste em colocar dois ou três reatores em série, que operam em vácuo, o que permite aumentar a conversão e a seletividade. A seletividade do monómero de estireno é de 93-97%. Os principais subprodutos são o benzeno e o tolueno. O monómero de estireno e o etilbenzeno apresentam pontos de ebulição semelhantes 145 ° e 136 ° C, respetivamente, por isso são necessárias torres de destilação de dimensão elevada e altas taxas de retorno/refluxo para garantir uma correta separação. Na via

hidroperóxido de etilbenzeno, o etilbenzeno é inicialmente tratado com oxigénio para que se forme o hidroperóxido de etilbenzeno (eq.1). O Hidroperóxido de etilbenzeno reage com o propileno e origina o 2-feniletanol (eq.2). O estireno resulta do 2-feniletanol (eq.3) (European Commission, 2009).



O processo de produção de estireno apresenta impacte negativo para a Saúde Humana. Segundo a Agência Americana para Substâncias Tóxicas e Registo de Doenças, o estireno pode afetar o sistema nervoso dos humanos, causar cansaço, problemas de concentração e aumento do tempo de reação (ATSDR, 2012).

O monómero butadieno é produzido recorrendo ao cracking. O cracking consiste na transformação de óleos pesados em óleos mais leves através de processos químicos. É um processo importante para produzir produtos químicos, onde quebra as cadeias longas de hidrocarbonetos em cadeias mais curtas (European Commission, 2009). Na figura 5.5. apresenta-se a formula química do butadieno.

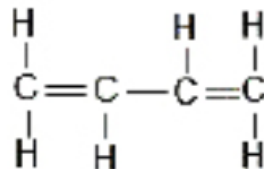


Figura 5.5. Formula química do butadieno.

Na produção dos monómeros estireno e butadieno ocorre a emissão de gases com efeito de estufa. Relativamente ao monómero estireno, a sua produção emite cerca de 3,6 Mt CO<sub>2</sub> eq/ton de produto. Quanto ao monómero butadieno, emite ao longo da sua produção 0,6 Mt CO<sub>2</sub> eq/ton de produto. Assim, verifica-se que a produção de butadieno emite menos gases com efeito de estufa do que o estireno (European Commission, 2009).

A borracha SBR é um copolímero de estireno e de butadieno e pode ser produzida por polimerização de emulsão ou em solução (Rocha, Soares, & Coutinho, 2007). A figura 5.6. apresenta o processo de síntese do SBR a partir dos dois monómeros (CTB, s.d.).

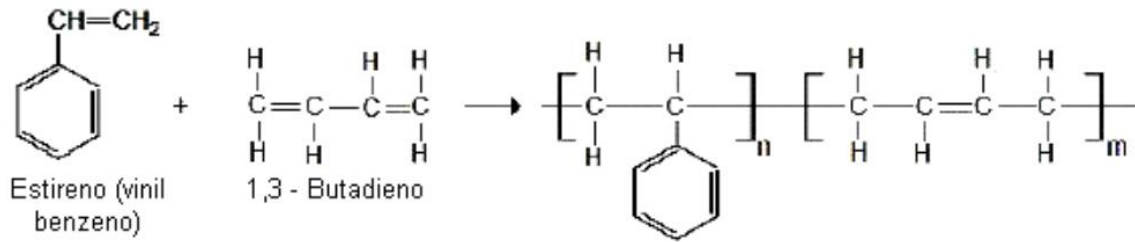


Figura 5.6. Obtenção da borracha SBR (CTB, s.d.).

#### 5.2.1.2. Análise das emissões no Processo de Produção na Monteiro Footwear

O processo de produção da placa de borracha SBR na unidade Monteiro Footwear emite cerca de 0,97 ton CO<sub>2</sub> eq/ton de borracha produzida, valor que foi estimado a partir do consumo de eletricidade e gás natural para a produção de vapor (dados fornecidos pela unidade).

#### 5.2.1.3. Análise das emissões no fim de vida

Embora não se possa conhecer o exato destino do calçado no seu fim de vida, para simplificação deste estudo optou-se por considerar duas hipóteses: Hipótese A - o destino final das solas é a incineração; Hipótese B – as solas são encaminhadas para a compostagem.

#### **Hipótese A - Incineração**

A incineração é um dos processos de encaminhamento frequente de resíduos por permitir reduzir a sua massa e simultaneamente gerar energia.

A combustão da borracha SBR ocorre na presença de oxigénio (O<sub>2</sub>) formando-se, entre outros compostos, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e água. As emissões de gases como o CO<sub>2</sub> ou CO são prejudiciais para o meio ambiente, porque contribuem para o aumento de efeito de estufa.

No presente estudo, os cálculos efetuados para a combustão da sola de borracha SBR, foi considerado que apenas se forma CO<sub>2</sub> e que o rendimento de combustão é de 100%. A sola é formada por vários constituintes, já referidos anteriormente, onde apenas dois, os monómeros estireno e butadieno, apresentam uma maior relevância no estudo da sustentabilidade por serem os componentes que estão presentes em maior quantidade nas solas. Assim, a combustão da

sola de borracha SBR emite cerca de 2,25 ton CO<sub>2</sub> eq/ton de borracha SBR (cálculos apresentados no anexo A.1).

## **Hipótese B - Compostagem**

A sola de borracha SBR em fim de vida útil, normalmente não é reutilizada e como consequência, converte-se num resíduo prejudicial para o meio ambiente. Torna-se por isso importante avaliar e analisar a sua biodegradação quando esta é colocada para compostagem em aterros.

O estudo da biodegradação da sola de borracha SBR foi realizado anteriormente no âmbito da Tese de Mestrado da Cláudia Fonseca, tendo sido realizados ensaios de compostagem durante 78 dias (Fonseca, 2019). Para avaliar a biodegradação da sola de borracha SBR, recorreu a uma análise da perda de massa, tendo sido verificada uma perda de massa de 3,44% após os 78 dias de compostagem, concluindo que a borracha sintética vulcanizada apresenta biodegradação muito lenta, sendo uma desvantagem para esta sola.

### **5.2.1.4. Análise da pegada hídrica**

A pegada hídrica constitui também um indicador de sustentabilidade uma vez que avalia a quantidade de água necessária para o fabrico da sola. Não foi possível reunir informações acerca do consumo de água na produção das matérias primas. No processo de fabrico das placas para a sola de borracha SBR, de acordo com a informação prestada pela unidade, a quantidade de água usada é negligenciável.

## **5.2.2. Estudo de alguns indicadores de sustentabilidade da sola de borracha SBR com a incorporação de casca de arroz**

### **5.2.2.1. Análise das emissões na obtenção da matéria-prima**

A casca de arroz surge do cereal mais consumido em todo o Mundo. É um resíduo de elevada dureza com a possibilidade de ser incorporado na sola de borracha SBR dando assim um fim de vida diferente/útil ao resíduo.

Pretende-se avaliar a sustentabilidade de uma sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz. A tabela 5.2. apresenta a composição e os constituintes da sola de borracha com 40% de casca de arroz incorporada.

Tabela 5.2. Constituintes da sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz e a respetiva composição.

Sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz	Constituintes	Composição (%)
	Butadieno	23
	Estireno	18
	Inertes (Sílica e ZnO)	16
	Casca de arroz	40
	Outros orgânicos (PEG e ácido esteárico e aceleradores)	3

Esta sola apresenta, à partida, uma vantagem em relação da sola de borracha SBR, contém menores percentagens de butadieno e estireno e, por consequência, comparativamente existe uma menor emissão de gases de efeito de estufa relativamente à emissão de gases de efeito de estufa na produção dos monómeros estireno e butadieno.

Relativamente à casca de arroz, refira-se que é rica em componentes inorgânicos (sílica), o que dificulta a combustão da mesma. A sílica é absorvida pela planta durante o crescimento e acumula-se na casca, na forma de ácido ortossilícico solúvel em água que polimeriza e precipita na forma de sílica amorfa. Devido a este facto, a sílica na casca de arroz apresenta estrutura amorfa hidratada, e a sua superfície apresenta estrutura porosa formada por grupos Si-OH hidrófilos que absorvem a humidade. Quando sujeita à combustão, da casca de arroz obtém-se cinzas, que representam cerca de 20% do peso das cascas e apresentam elevado teor de sílica (87-97%) (Kurama, 2003).

Ao reutilizar a casca de arroz, importa realçar que iremos utilizar menos quantidade de monómeros (menos quantidade de petróleo), logo a emissão de gases será menor.

#### 5.2.2.2. Análise das emissões na produção de placas de SBR com casca de arroz

Relativamente ao processo de produção da sola de borracha SBR com incorporação da casca de arroz, considerou-se que emite cerca de 0,97 ton CO<sub>2</sub> eq/ton de borracha produzida, o mesmo que para a sola de borracha convencional já que o consumo energético e de gás natural não difere.

### 5.2.2.3. Análise das emissões no fim de vida

#### **Hipótese A – Incineração**

A emissão de CO<sub>2</sub> durante a incineração da casca de arroz é relativamente pequeno em relação à quantidade de CO<sub>2</sub> emitido na produção do arroz. Assim, a quantidade de CO<sub>2</sub> libertada para a atmosfera na combustão da sola de borracha com 40% de casca de arroz devida exclusivamente à casca de arroz é considerada desprezável (Hall & Scrase, 1998). A cinza gerada durante a combustão promove a poluição no solo, devido à presença de carbono residual, bem como óxidos alcalinizantes (por exemplo CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, etc.), que em contacto com a água vão alcalinizar o meio aquoso (Zucco, 2007).

A incineração é um dos encaminhamentos, sendo necessário avaliar as emissões de gases com efeito de estufa gerados durante a combustão, nomeadamente CO<sub>2</sub> e CO. Repetindo a metodologia adotada para a análise do que ocorre na sola convencional de SBR, considera-se que a combustão da sola de borracha com 40% de casca de arroz apresenta rendimento de 100% e que unicamente se forma CO<sub>2</sub>. A incorporação de 40% de casca de arroz, implica que a proporção de estireno e butadieno será menor calculando-se que as emissões devidas à combustão serão menores nessa proporção relativamente ao estimado para a sola convencional de SBR, resultando em 1,36 ton CO<sub>2</sub> eq/ ton de borracha com 40% de casca de arroz (anexo A.2).

#### **Hipótese B – Compostagem**

No caso da casca de arroz ser levada para aterro, este resíduo é de lenta decomposição na natureza, aproximadamente 5 anos, tendo como consequência a sua acumulação em aterros, tornando-se assim um problema de deposição, problema que se repete também no caso das cinzas resultantes da queima das cascas. A deposição imprópria do resíduo pode originar decomposição anaeróbica e produzir gases poluentes, tais como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso, que provocam danos na camada de ozono (Zucco, 2007), que terá como consequência o aumento do aquecimento global (Bhattacharya *et al.*, 1999). Tendo em conta que este cereal é produzido em elevadas quantidades, a reutilização das cascas torna-se sustentável porque para além de estarmos a reutilizar um resíduo proveniente de um alimento que irá sempre existir, permitirá dar-lhe um novo fim de vida.

O estudo da biodegradação da sola de borracha com 40% de casca de arroz foi realizado anteriormente no âmbito da Tese de Mestrado da Cláudia Fonseca, tendo sido realizados ensaios de compostagem durante 78 dias (Fonseca, 2019). Para avaliar a biodegradação da sola de borracha com 40% de casca de arroz, recorreu a uma análise da perda de massa, tendo sido verificada uma perda de massa de 5,45% após os 78 dias de compostagem. Apesar de a perda de massa durante a compostagem ter quase duplicado de velocidade na presença de casca de arroz, a biodegradação foi ainda considerada muito lenta.

#### 5.2.2.4. Análise da pegada hídrica

Não foi possível reunir informações acerca do consumo de água na produção das matérias primas e ao longo da produção da sola de borracha SBR e da sola com 40% de casca de arroz. A quantidade de água utilizada durante o processo de produção deste novo produto é semelhante ao consumo de água da sola de borracha SBR, pois a sola sofre o mesmo processo de produção. Na produção do arroz são utilizadas quantidades significativas de água, no entanto neste estudo esse valor é desprezado porque o arroz é sempre produzido quer a casca seja reutilizada ou não.

Refira-se ainda que a incorporação da casca de arroz na sola de borracha SBR é uma forma de reciclar o resíduo, oferecendo-lhe um novo fim de vida útil, reduzindo as quantidades de resíduos a depositar, constituindo assim uma vantagem adicional do ponto de vista da sustentabilidade.

#### 5.2.3. Comparação da sustentabilidade entre a sola de borracha SBR e da sola de borracha com incorporação de 40% de casca de arroz

Na comparação da sustentabilidade entre a sola de borracha SBR e da sola de borracha com 40% de casca de arroz é essencial comparar todos os parâmetros abordados anteriormente. A tabela 5.3., apresenta os diversos parâmetros analisados comparando as duas solas identificando a que polui mais, se poluem igual e a que polui menos.

Tabela 5.3. Parâmetros analisados das duas solas em estudo.

Parâmetros analisados	Sola de borracha SBR	Sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz
<b>Produção das matérias-primas</b>	+	-
<b>Produção das placas de borracha</b>	=	=
<b>Fim de vida das borrachas por incineração</b>	+	-
<b>Fim de vida das borrachas por compostagem</b>	+	-
<b>Pegada hídrica</b>	=	=

+ Polui mais; = Polui Igual; - Polui menos.

Relativamente à emissão de CO<sub>2</sub> na produção da-matéria prima, a sola de SBR emite maiores quantidades de CO<sub>2</sub> do que a sola de borracha com 40% de casca de arroz porque contém maiores percentagens do polímero e por conseguinte envolve um uso acrescido dos monómeros estireno e butadieno.

Na produção das placas de borracha SBR em comparação com as placas de borracha SBR com casca de arroz, ambas apresentam as mesmas emissões de 0,97 ton CO<sub>2</sub> eq/ton produzidas de borracha.

Relativamente à pegada hídrica, a quantidade de água necessária durante a produção é a mesma em ambos os casos.

Em termos de produção da matéria-prima, as cascas de arroz são provenientes de um cereal que necessita de elevadas quantidades de água, o qual seria uma desvantagem, mas como o que se pretende é reaproveitar um resíduo da produção de arroz, esta quantidade de água não foi contabilizada para análise da sustentabilidade deste novo produto. Assim, no que diz respeito à quantidade de água necessária na produção das duas solas, apresentam consumos semelhantes.

No estudo da sustentabilidade no fim de vida das solas, e considerando a hipótese de incineração, em relação ao CO<sub>2</sub> libertado pelo processo de combustão, verifica-se que a sola com 40% de casca de arroz emite uma percentagem inferior, cerca de 40%, relativamente à sola de borracha SBR convencional.

Considerando a hipótese da compostagem no estudo da sustentabilidade no fim de vida das solas, a análise comparativa da biodegradação das solas em estudo mostra que a sola de borracha com 40% de casca de arroz apresenta maior velocidade na perda de massa do que a

sola de borracha SBR, 5,45% e 3,44%, respetivamente. Quanto maior a biodegradação, maior será a sustentabilidade do produto, logo a sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz apresenta relativamente maior degradação, o que se torna melhor para o meio ambiente e mais sustentável.

Do ponto de vista da análise da reciclagem dos resíduos, conclui-se que ao utilizar a casca de arroz para incorporar na sola, o resíduo é valorizado dando-lhe um novo fim de vida, com clara vantagem sobre a sola de borracha SBR. Como esta normalmente não é reciclada, apresenta a desvantagem de utilizar sempre grandes quantidades de novos recursos provenientes do petróleo para produzir novas solas.



## Capítulo 6

### 6. Conclusões e Sugestões para Trabalho Futuro

Inicialmente o trabalho proposto pretendia avaliar a incorporação de diversos resíduos, como casca de arroz e pó de neolite, em solas de borracha SBR e posteriormente avaliar a sua biodegradação. O principal foco deste estudo era a valorização de resíduos provenientes das indústrias, garantido que teriam um fim de vida mais sustentável, diminuindo os compostos provenientes do petróleo. A biodegradação seria avaliada através da perda de massa numa compostagem caseira. Devido ao confinamento não foi possível desenvolver este trabalho, acabando por ter de se optar por uma abordagem mais teórica.

Neste trabalho efetuou-se o estudo da sustentabilidade de dois produtos, a sola de borracha SBR e a sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz. Foram estudados diversos parâmetros para perceber qual o produto que seria mais sustentável.

Na produção das matérias-primas há emissão de gases com efeito de estufa, onde se verifica que a sola de SBR emite maiores quantidades de CO<sub>2</sub> do que a sola de borracha com 40% de casca de arroz porque contém maiores percentagens dos monómeros estireno e butadieno, que faz com que haja maior consumo de petróleo, tornando assim uma desvantagem para a sola de borracha SBR convencional.

Na produção das placas de borracha SBR em comparação com as placas de borracha SBR com 40% casca de arroz verifica-se que ambas emitem cerca de 0,97 ton CO<sub>2</sub> eq/ton de borracha decorrente do consumo de gás natural e de eletricidade.

Considerando a hipótese de que no fim de vida útil da sola de borracha esta é incinerada a emissão de gases de efeito de estufa foi determinada a partir de dados sobre a combustão dos dois monómeros existentes na sola de borracha SBR e na sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz, obtendo emissões de 2,25 ton CO<sub>2</sub> eq/ton de borracha SBR e de 1,36 ton CO<sub>2</sub> eq/ ton de borracha com 40% de casca de arroz, respetivamente. Analisando os valores apresentados anteriormente, verifica-se que a sola com 40% de casca de arroz emite uma percentagem 40% inferior, relativamente à sola de borracha SBR convencional.

Considerando a hipótese de que no fim de vida útil da sola de borracha esta é encaminhada para compostagem, verifica-se que a sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz foi a que obteve uma maior perda de massa no mesmo intervalo de tempo, mais concretamente

5,45% e a sola de borracha SBR obteve 3,44%, tornando assim a sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz mais sustentável devido à rapidez de degradação ser superior e menos prejudicial para o meio ambiente.

No que diz respeito à pegada hídrica, ambas as solas necessitam da mesma quantidade de água durante o processo produção.

Uma vantagem adicional da sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz é a valorização do resíduo de forma a oferecer-lhe um fim de vida útil.

De acordo com a definição de sustentabilidade enquadrada neste trabalho e os parâmetros estudados, pode concluir-se que a sola de borracha SBR com incorporação de 40% de casca de arroz é mais sustentável do que a sola de borracha SBR convencional e constitui, portanto, uma estratégia válida para esta atividade industrial.

Havendo poucos estudos realizados sobre a biodegradação da sola de borracha SBR comparativamente à sola de borracha com 40% de casca de arroz, é de todo conveniente realizar estudos mais aprofundados para diferenciar se o que aconteceu com o produto de compostagem é um fator microbiológico ou químico.

Será importante, como trabalho futuro, melhorar a avaliação do ciclo de vida, de forma a que seja mais completa em termos de informação e de dados, de modo a que se consiga obter melhores conclusões. No entanto futuramente, gostaria de realizar o estudo inicialmente previsto em conjunto com o estudo apresentado, para garantir dados mais precisos em relação à biodegradação das solas SBR com resíduos industriais incorporados.

## Referências bibliográficas

- Água. (18 de Maio de 2013). Obtido de Consumo de água em Portugal: <https://biologiaesl.wordpress.com/2013/05/18/consumo-de-agua-em-portugal/>
- Almeida, A. S., & Marques, P. (2013). A importância da cultura do arroz em Portugal e no Mundo. *Auditório do Centro de Formação*. Oeiras.
- ANIET. (2020). Relatório de Avaliação do ciclo de Vida. *Ecoeficiência e Competitividade*, 19-22.
- APA. (15 de Abril de 2020). Inventário Nacional de Emissões 2020. *Memorando sobre emissões GEE*.
- ATSDR. (Junho de 2012). Styrene- ToxFAQs. *Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Human Health Sciences*.
- Ayres, R. U., Bergh, J. C., & Gowdy, J. M. (1998). Weak versus strong sustainability. *Tinbergen Institute Discussion Papers*, 98-103.
- Bhattacharya, S., Joe, M., Kandhekar, Z., Salam, A., & Shrestha, R. (1999). Greenhouse-gas emission mitigation from the use of agricultural residues: the case of rice husk. *Energy*, 24(1), 43-59.
- Boateng, A., & Skeete, D. (1990). Incineration of rice hull for use as a cementitious material: The Guyana experience. *Cement and Concrete Research*, 20, 795-802.
- Borschiver, S., Almeida, L. F., & Roitman, T. (2008). Biopolymers technology and market monitoring. *Polimeros*, 18, 256-261.
- Brander, M., & David, G. (Agosto de 2012). Greenhouse Gases, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>e, and Carbon: What Do All These Terms Mean? *Ecometrica*, 1-3.
- Breier, G. P., Jung, C. F., & Caten, C. S. (2011). Análise e síntese de modelos para avaliação da sustentabilidade de empresas. *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Inovação Tecnológica e Propriedade*.
- Brundtland, G. H. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development- Our Common Future*. United Nations.

- By-products*. (s.d.). Obtido em 29 de Abril de 2020, de Rice Knowledge Bank: Your Information source for rice farming: <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products#rice-husk>
- Campos, G. S. (2016). Avaliação do aproveitamento energético da casca de arroz: Um estudo de caso no Município de Santo Antônio da Patrulha. *Universidade Federal do Rio grande*.
- Chamusca, A., Colombo, B., Gadioli, B., Dias, C., Mukai, C., Centeno, C., . . . Acar, T. (2006). *Responsabilidade social das empresas: a contribuição das universidades* (Vol. 5). São Paulo: Peirópolis.
- Chen, J. (16 de Março de 2018). *Dow Jones Sustainability World Index*. Obtido em 14 de Maio de 2020, de Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/d/djones-sustainability-world.asp>
- Chowdhury, S., Mishra, M., & Suganya, O. (2015). The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. *Ain Shams Engineering Journal*, 6, 429-437.
- Coran, A. Y. (1994). Vulcanization. *Institute of Polymer Engineering, The University of Akron*, 339-385.
- Cremasco, M. A. (2015). *Vale a Pena Estudar Engenharia Química*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda.
- CTB*. (s.d.). Obtido em 15 de Agosto de 2020, de Borracha de estireno butadieno (SBR): <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/borrachas-sinteticas/borracha-de-estireno-butadieno-sbr/>
- Della, V. P., Kühn, I., & Hotza, D. (2001). Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. *Química Nova*, 24(6).
- EC-JRC. (2010). General guide for Life Cycle Assessment- Detailed guidance. *International Reference Life Cycle Data System*.
- Ecofys, E. (November de 2009). Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012: Sector report for the chemical industry. *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research*.

- eCycle. (s.d.). *O que é sustentabilidade: conceitos, definições e exemplos*. Obtido de eCycle- Sua pegada mais leve: <https://www.ecycle.com.br/3093-sustentabilidade.html>
- EDP Comercial. (23 de Abril de 2020). Obtido de Conheça a Origem da Energia: <https://www.edp.pt/origem-energia/?sector=Total%20EDP%20Comercial&year=2020&period=14>
- eia. (2017). *Independent Statistics e Analysis*. Obtido de U.S. Energy Information Administration: <https://www.eia.gov/>
- Ercin, A. E., Aldaya, M., & Hoekstra, A. (2011). Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management*, 25, 721-741.
- European Commission. (November de 2009). *Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012: Sector report for the chemical industry*.
- Faria, C. A. (2006). *Aplicação do escalonamento multidimensional ao julgamento e classificação de conceitos emocionais*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Psicologia.
- Figueiredo, F., Castanheira, É., Mateus, A., Marques, P., & Freire, F. (s.d.). Avaliação de ciclo de vida do azeite – Estado da Arte. *Center for Industrial Ecology, ADAI-LAETA, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra (Polo II)*.
- Fonseca, C. A. (2019). *Estudo da biodegradação de solas de borracha incorporando materiais naturais em ambiente de compostagem*. Instituto Superior de Engenharia do Porto: Mestrado Em Engenharia Química.
- Frimawaty, E., Basukriadi, A., Syamsu, J. A., & Soesilo, T. B. (2013). Sustainability of rice farming based on eco-farming to face food security and climate change: Case study in Jambi Province, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 53-59.
- Gibson, R. B. (2001). Specification of sustainability-based environmental assessment decision criteria and implications for determining "significance" in environmental assessment . *Ottawa*.
- Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. (2002). A typology for the classification description and valuation of ecosystem functions goods and services. *Ecological Economics*, 393-408.

- Guinée, J. (2002). Handbook on life cycle assessment. *Kluwer Academic Publishers, Springer*.
- Hall, D., & Scrase, J. (1998). Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass and Bioenergy*, 15(4), 357-367.
- Hammond, A. (1995). Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. *World Resources Institut*.
- Hoekstra, A. Y. (2010). The water footprint of animal products. *Developing More Sustainable Production and Consumption*, 22-33.
- Hotelling, H. (1937). The Economics of Exhaustible Resources. *Chicago Journals*, 39, 137-175.
- IEA. (2019). *Data and Statistics*. Obtido de International Energy Agency: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Oil&indicator=Crude%20oil%20imports%20vs.%20exports>
- INE. (s.d.). Estatísticas Agrícolas. *Instituto Nacional de Estatística, I.P.*
- Islam, M. M., & Khan, M. M. (2014). Environmental Sustainability Evaluation of Apparel Product: A Case Study on Knitted T-Shirt. *Hindawi Publishing Corporation*.
- ISO 14040. (2008). *Gestão ambiental, Avaliação do ciclo de vida, Princípios e enquadramento*.
- ISO 14044. (2010). *Gestão ambiental, Avaliação do ciclo de vida, Requisitos e linhas de orientação*.
- Kurama, H. (2003). The Effect of Chemical Treatment on The Production of Active Silica from Rice Husk. *18 Int. Min. Congr. Exhib.*, 431-436.
- Landim, A. P., Bernardo, C. O., Martins, I. B., Francisco, M. R., Santos, M. B., & Melo, N. R. (19 de Janeiro de 2016). Sustainability concerning food packaging in Brazil. *Polímeros*, 26.
- Leoneti, A., Nirazawa, A., & Oliveira, S. (Outubro-Dezembro de 2016). Proposta de índice de sustentabilidade como instrumento de autoavaliação para micro e pequenas empresas (MPES). *REGE- Revista de Gestão*, 23(4), 349-361.

- Magalhães, B. (8 de Junho de 2020). *Público-alvo: o que é e como dialogar com quem você precisa!* Obtido em 10 de Setembro de 2020, de blog: <https://rockcontent.com/br/blog/publico-alvo/>
- Mancebo, F. (2013). *Développement durable*. (2ª ed.). Paris: Armand Colin.
- Meadows, D. (1998). Indicators and Information Systems for Sustainable Development. *The Sustainability Institute*, 1.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). The limits to growth.
- Moliner, C., Lagazzo, A., Bosio, B., Botter, R., & Arato, E. (2020). Production, Characterization, and Evaluation of Pellets from Rice Harvest Residues. *Energies*.
- Monteiro Fabrics. (28 de Dezembro de 2019). Obtido de About: <http://www.monteirofabrics.com/en/about/>
- Nascimento, E. P. (2012). The trajectory os sustainability: From environmental to social, form social to economic. *Estudos Avançados* , 26(74), 51-64.
- Nasrollahi, Z., Hashemi, M.-s., Bameri, S., & Taghvaei, V. M. (2015). Environmental pollution, economic growth, population, industrialization, and technology in weak and strong sustainability: using STIRPAT model. *Environment, Development and Sustainability*.
- ONU. (2000). Os Objetivos de Desenvolvimento do Milénio. p. 1.
- ONU. (1 de janeiro de 2016). Obtido de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável entram em vigor a 1 de janeiro: <https://unric.org/pt/17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-entram-em-vigor-a-1-de-janeiro/>
- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação . (2002). *Agricultura Mundial: Rumo a 2015-2030; Relatório Resumido; Earthscan Publications*.
- Pearce, D., Markandya, A., & Barbier, E. (1989). *Blueprint for a Green Economy*. Londres: Earthscan.
- Pergola, M., Persiani, A., Pastore, V., Palese, A. M., Adamo, C., Falco, E. D., & Celano, G. (2020). Avaliação de sustentabilidade da cadeia de produção de composto verde a partir de resíduos agrícolas: um estudo de caso no sul da Itália. *Agronomy*, 10(2), 230. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy10020230>

- PORDATA*. (16 de Junho de 2020). Obtido de Abastecimento de água: água captada, água tratada e água distribuída/consumida-Continente: <https://www.pordata.pt/Portugal/Abastecimento+de+%c3%a1gua+%c3%a1gua+capta+da+%c3%a1gua+tratada+e+%c3%a1gua+distribu%c3%adda+consumida+++Continente-3459-309797>
- Rattner, H. (1999). Sustentabilidade- uma visão humanista. *Ambiente & Sociedade*(5), 233-240.
- Reed, J., Fraser, E., & Dougill, A. (2006). An adaptative learning process for developing and applying sustainability indicadores with local communities. *Ecological Economics*, 406-418.
- Rocha, T. C., Soares, B. G., & Coutinho, F. M. (Outubro a Dezembro de 2007). Principais copolímeros elastoméricos à base de butadieno utilizados na indústria automobilística. *Polímeros*, 17(4).
- Romagosa Casals, F., & Cuétara Sanches, L. (2001). El desarrollo sostenible en destinos turísticos: propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad. *Papers de Turismo*, 30, 125-137.
- Rosa, D. S., Chui, Q. S., Pantano Filho, R., & Agnelli, J. A. (2002). Avaliação da biodegração de Poli-b-(Hidroxibutirato), Poli-b-(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli-e-(caprolactona) em solo Compostado. *Revista Polímeros*, 12(4).
- Sarnklong, C., Cone, J. W., Pellikaan, W., & Hendriks, W. (2010). Utilization of Rice Straw and Different Treatments to Improve, Its Feed Value for Ruminants: A Review. *The Asian-Australasian, Association of Animal Production Societies*, 23(5), 680-692.
- Sebio, L., & Chang, Y. K. (2003). Desenvolvimento de plástico biodegradável à base de amido de milho e gelatina pelo de processo de extrusão. *Tese de Doutorado, UNICAMP*.
- Seghezzeo, L. (2009). The five dimensions of sustainability. *Environmental Politics*.
- Sharif, A., Baris-Tuzemen, O., Uzuner, G., Ozturk, I., & Sinha, A. (2020). Revisiting the role of renewable and non-renewable energy consumption on Turkey's ecological footprint: Evidence from Quantile ARDL approach. *Sustainable Cities and Society*, 5.
- SIDS. (Dezembro de 2007). Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. *Agência Portuguesa do Ambiente - APA*.

- Smallwood, H. (1944). Limiting law of the reinforcement of rubber. *Journal of Applied Physics*, 15, 758–767.
- Thudaji, N., & Nuntiya, A. (2008). Preparation of nanosilica powder from rice husk fibres ash by precipitation method. *Chiang Mai Journal of Science*, 35, 206-211.
- Toniollo, M., Zancan, N. P., & Wust, C. (23 a 26 de Novembro de 2015). Indústria Têxtil: Sustentabilidade, Impactos e Minimização. *VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*.
- Traoré, S., Traoré, D., Kourouma, S., & Magassouba, S. (2018). Preparation of Silicon from rice husk as renewable energy resource by the use of microwave ashing and acid digestion. *International Journal of Energy Engineering*, 8, 25–29.
- United Nations Division for Sustainable Development. (2001). *Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies, Commission on Sustainable Development*.
- Wiersum, K. F. (1995). 200 Years of Sustainability in Forestry. *Environmental Management*, 19, 321-329.
- Wilderer, P. A. (2007). Sustainable water resource management. *Sustain Sci*, 1-4.
- Zink. (2014). Designing sustainable work systems: The need for a systems approach. *Applied Ergonomics*, 126-132.
- Zucco, L. L. (2007). Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza-casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas. *Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas*, 422.



## Anexos

### Anexos A. Emissão de gases com efeito de estufa no fim de vida das solas

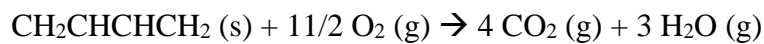
#### A.1. Determinação da emissão de GEE durante a incineração da sola de borracha SBR

##### Sola de borracha SBR contém:

- 38% de butadieno (CH<sub>2</sub>CHCHCH<sub>2</sub>);
- 30% de estireno (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CHCH<sub>2</sub>).

**Base de cálculo:** 1000 Kg de borracha SBR

##### Reação de combustão de butadieno:



$$m = 380,00 \text{ Kg} \qquad \text{MM} = 54,00 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM} = 54,00 \text{ g/mol}$$

**Nota:** Assumindo que o rendimento da combustão é 100% e que apenas se forma CO<sub>2</sub>.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{380000,00 \text{ g}}{54,00 \text{ g/mol}} = 7037,04 \text{ mol de CH}_2\text{CHCHCH}_2$$

$$1 \text{ mol CH}_2\text{CHCHCH}_2 \text{-----} 4 \text{ mol CO}_2$$

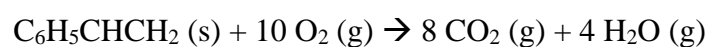
$$7037,04 \text{ mol CH}_2\text{CHCHCH}_2 \text{-----} n \text{ mol CO}_2$$

$$n = 28148,16 \text{ mol de CO}_2$$

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = 28148,16 \times 44,00 = 1238519,04 \text{ g de CO}_2$$

$$= \mathbf{1238,52 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq/ton}}$$

##### Reação de combustão de estireno:

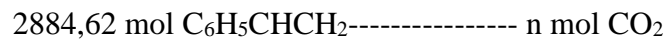
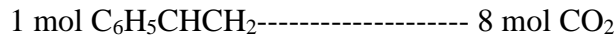


$$m = 300,00 \text{ Kg} \qquad \text{MM} = 104,00 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM} = 104,00 \text{ g/mol}$$

**Nota:** Assumindo que o rendimento da combustão é 100% e que apenas se forma CO<sub>2</sub>.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{300000,00 \text{ g}}{104,00 \text{ g/mol}} = 2884,62 \text{ mol de C}_6\text{H}_5\text{CHCH}_2$$



$$n = 23076,92 \text{ mol de CO}_2$$

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = 23076,92 \times 44,00 = 1015384,62 \text{ g de CO}_2$$

$$= \mathbf{1015,38 \text{ Kg de CO}_2/\text{ton}}$$

**Massa total de CO<sub>2</sub> na combustão da borracha SBR:**

$$m_{\text{total}} = 1238,52 + 1015,38 = 2253,90 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq/ton} = \mathbf{2,25 \text{ ton de CO}_2 \text{ eq/ton de borracha}}$$

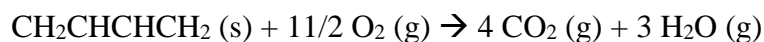
A.2. Determinação da emissão de GEE durante a incineração da sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz

**Sola de borracha SBR com 40% de casca de arroz contém:**

- 23% de butadieno (CH<sub>2</sub>CHCHCH<sub>2</sub>);
- 18% de estireno (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CHCH<sub>2</sub>).

**Base de cálculo:** 1000 Kg de borracha SBR com 40% de casca de arroz.

**Reação de combustão de butadieno:**

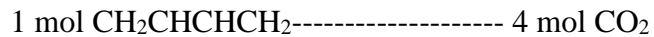


$$m = 230,00 \text{ Kg} \qquad \text{MM} = 54,00 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM} = 54,00 \text{ g/mol}$$

**Nota:** Assumindo que o rendimento da combustão é 100% e que apenas se forma CO<sub>2</sub>.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{230000,00 \text{ g}}{54,00 \text{ g/mol}} = 4259,26 \text{ mol de CH}_2\text{CHCHCH}_2$$

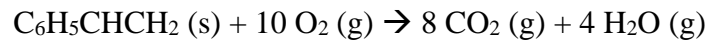


$$n = 17037,04 \text{ mol de CO}_2$$

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = 17037,04 \times 44,00 = 749629,76 \text{ g de CO}_2$$

$$= \mathbf{749,63 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq/ton}}$$

### Reação de combustão de estireno:

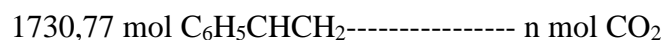
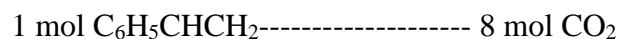


$$m = 180,00 \text{ Kg} \quad \text{MM} = 44,00 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM} = 104,00 \text{ g/mol}$$

**Nota:** Assumindo que o rendimento da combustão é 100% e que apenas se forma CO<sub>2</sub>.

$$n = \frac{m}{M} = \frac{180000,00 \text{ g}}{104,00 \text{ g/mol}} = 1730,77 \text{ mol de C}_6\text{H}_5\text{CHCH}_2$$



$$n = 13846,16 \text{ mol de CO}_2$$

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = 13846,16 \times 44,00 = 609231,04 \text{ g de CO}_2$$

$$= \mathbf{609,23 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq/ton}}$$

### Massa total de CO<sub>2</sub> na combustão da borracha SBR com 40% de casca de arroz:

$$m_{\text{total}} = 749,63 + 609,23 = 1358,90 \text{ Kg de CO}_2 \text{ eq/ton} = \mathbf{1,36 \text{ ton de CO}_2 \text{ eq/ton de borracha}}$$