U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2021/2022

AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA EMPRESA TÊXTIL

CAROLINA LOPO FERREIRA DE SOUSA

Dissertação submetida para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Adrián Manuel Tavares da Silva
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Orientador Académico: Cecília Alexandra Abreu Coelho da Rocha
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Coorientador: Adrián Manuel Tavares da Silva
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

_____

Orientador na Empresa: Bruno Lopes
(Gestor de Investigação, Desenvolvimento, Inovação e Sustentabilidade da FORteams LAB)

_____

julho 2022

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha orientadora académica, Professora Cecília Rocha, pela disponibilidade e pelas críticas construtivas dadas durante todo o trabalho desenvolvido.

Ao meu coorientador, Professor Adrián Silva, por todo o apoio, disponibilidade e preocupação.

Um agradecimento especial à Joana Pesqueira por toda a ajuda, tempo e paciência despendidos.

Ao Bruno Lopes, Ana Cardoso e toda a equipa da FORteams LAB por me acolherem, fazerem-me sentir à vontade e por toda a disponibilidade e ajuda na recolha dos dados necessários à realização desta dissertação.

Aos meus pais, um sincero obrigada por me darem todas as condições necessárias para ir mais longe, por acreditarem no meu potencial e por aturarem o meu stress neste semestre.

Às minhas melhores amigas Daniela e Inês, por estarem sempre presentes nos momentos mais importantes e me incentivarem a continuar quando tudo parece difícil.

Aos meus amigos e parceiros de curso Inês Costa, Luís Silva e Maria Carolina Duarte, por todas as memórias, maratonas de estudo e companheirismo. Estes 5 anos não seriam os mesmos sem vocês.

Às minhas amigas Francisca e Joana, por todos os fins de semana e noitadas de estudo, pela motivação e por tornarem esta jornada na melhor possível.

Por fim, um agradecimento a todos os colegas e docentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por fazerem parte do meu percurso académico e pessoal.

Resumo

Com o aumento da população mundial, a procura por peças de roupa segue uma trajetória similar. Devido a esse aumento do consumo, as indústrias têxtil e de vestuário, constituem a quarta maior indústria de produção a nível mundial. No entanto, esta indústria está diretamente relacionada com variados problemas ambientais. Considerando a representatividade do setor têxtil no cômputo global dos impactos ambientais, é interessante perceber quais os benefícios que podem resultar de prosseguir com a transição para um processo de fabrico mais sustentável.

O presente estudo tem como objetivo comparar o desempenho ambiental, ao longo de todo o seu ciclo de vida, de dois tipos de gorros: um em tecido acrílico 100% virgem e outro em tecido acrílico reciclado. Foi efetuada uma avaliação do ciclo de vida de um lote de 50 gorros de acrílico virgem e acrílico reciclado, que compreendem as etapas de produção da matéria-prima (fio), tricotagem, corte, costura, acabamentos finais, embalamento, transportes, utilização e fim de vida. A análise foi realizada com o programa SimaPro, utilizando a metodologia *ReCiPe 2016 Midpoint (H)* com 18 categorias de impacto, nomeadamente (acrónimos resultantes da terminologia em inglês): aquecimento global (GW), depleção do ozono estratosférico (SozD), radiação ionizante (Irad), formação de ozono, saúde humana (OzFHH) e ecossistemas terrestres (OzFTE), formação de matéria fina particulada (FPMF), acidificação terrestre (Tac), eutrofização de água doce (Feu) e marinha (Meu), ecotoxicidade terrestre (TEx), de água doce (Fex) e marinha (Mex), toxicidade carcinogénica (HCTx) e não carcinogénica (HnCTx) humana, uso do solo (LU), escassez de recursos minerais (MRSc) e fósseis (FRSc) e consumo de água (WC).

Os inventários foram construídos com dados primários calculados e aferidos na empresa, FORteams lab, e os dados secundários foram estimados com base em modelos existentes ou retirados da base de dados *Ecoinvent*. Os dados primários relativos à produção do fio de acrílico foram extrapolados de dados de um estudo de avaliação de ciclo de vida (ACV) previamente realizado, uma vez que não foi obtida resposta por parte dos fornecedores. Após a avaliação do impacto ambiental dos dois tipos de gorro, por etapa do ciclo de vida, realizou-se uma avaliação comparativa seguida de uma normalização, de uma análise de Monte Carlo e de uma análise de sensibilidade, que visou três cenários diferentes, nos quais se alteraram dados relativos às etapas em que se observaram maiores impactos.

Os resultados demonstram que, durante o ciclo de vida dos 50 gorros de acrílico virgem, as etapas com maior impacto são o uso, a produção do fio de acrílico e o transporte do produto final. Para o ciclo de vida dos 50 gorros de acrílico reciclado, o maior impacto advém do transporte do produto final e o uso. Ao comparar os impactos totais das duas matérias-primas, é notório que o lote de gorros com acrílico virgem tem um maior impacto em todas as categorias analisadas. Das categorias de impacto ambiental avaliadas, as que apresentam valores mais elevados e respetivamente de maior representatividade no ciclo de vida dos diferentes lotes de gorros, são o aquecimento global, a radiação ionizante, a ecotoxicidade terrestre e a toxicidade carcinogénica não humana.

A análise de sensibilidade considerou três cenários alternativos, a alteração: (i) da proveniência do fio da Turquia para Espanha, (ii) do detergente utilizado e (iii) do meio de transporte do produto final. Para estes cenários, verificou-se que (i) o primeiro não regista um impacto notório que justifique esta alteração, que (ii) diferentes detergentes podem induzir diferenças significativas nos impactos totais do ciclo de vida do produto e que (iii) a alteração do meio de transporte do produto final pode reduzir, em cerca de metade, o impacto de algumas categorias.

Palavras-Chave: Avaliação de Ciclo de Vida, Avaliação do Impacto Ambiental, Indústria Têxtil, Acrílico, Neutralidade Carbónica.

Abstract

As the world population increases, the demand for clothing follows a similar trajectory. Due to this increase in consumption, the textile and clothing industries are the fourth largest production industry worldwide. However, this industry is directly related to several environmental problems. Considering the relevance of the textile sector in the global computation of environmental impacts, it is important to understand which benefits can result from the transition to a more sustainable manufacturing process.

This study aims to compare the environmental performance, throughout a life cycle approach, of two types of caps: one made of 100% virgin acrylic fabric and the other one made with recycled acrylic fabric. The life cycle assessment involved a pack of 50 caps made of virgin acrylic and recycled acrylic, comprising the stages of raw material production (yarn), knitting, cutting, sewing, final finishing, packaging, transportation, use and end of life. The analysis was conducted with the SimaPro program, using the ReCiPe 2016 Midpoint (H) methodology with 18 impact categories: global warming (GW), stratospheric ozone depletion (SozD), ionising radiation (Irad), ozone formation, human health (OzFHH) and terrestrial ecosystems (OzFTE), particulate matter formation (PMF), terrestrial acidification (Tac), freshwater (Feu) and marine (Meu) eutrophication, terrestrial (TEx), freshwater (Fex) and marine (Mex) ecotoxicity, human carcinogenic (HCTx) and non-carcinogenic (HnCTx) toxicity, land use (LU), mineral (MRSc) and fossil (FRSc) resource scarcity and water consumption (WC).

The inventories were constructed using primary data calculated and benchmarked at the company, FORteams lab, and secondary data was estimated based on existing models or taken from the Ecoinvent database. The primary data for the production of acrylic yarn had to be extrapolated from a previous life cycle assessment (LCA) study, as the suppliers did not respond in time. After assessing the environmental impact of the two types of caps by life cycle stage, a comparative assessment was carried out followed by normalisation, Monte Carlo analysis and sensitivity analysis, targeting three different scenarios in which data regarding the stages with the highest impacts was changed.

The results show that during the life cycle of the 50 virgin acrylic caps, the stages with the greatest impact are the production of the acrylic fiber, the transportation of the final product and the use. For the life cycle of the 50 recycled acrylic caps, the greatest impact comes from the transportation of the final product, and the use. When comparing the total impacts of the two types of cap, it is noticeable that the virgin acrylic caps have a greater impact in all the categories. Of the environmental impact categories assessed, the ones with the highest values and, respectively, most representative in the LCA of the different lots of caps, are global warming, ionizing radiation, terrestrial ecotoxicity and non-human carcinogenic toxicity.

The sensitivity analysis considered three alternative scenarios, the change: (i) of the provenance of the yarn from Turkey to Spain, (ii) of the detergent used and (iii) of the transportation mode of the final product. For these scenarios, it was found that (i) the first scenario does not have a notable impact justifying this change, (ii) different detergents can make significant differences in the total life cycle impacts of the product, and (iii) changing the transportation mode of the final product can reduce, by about half, the impact of some categories.

Keywords: Life Cycle Assessment, Environmental Impact Assessment, Textile Industry, Acrylic, Carbon Neutrality

Índice

Agradecimentos i
Resumo iii
Abstract iv
Índice v
Índice de Figuras ix
Índice de Tabelas xi
Acrónimos xiii
1. Introdução 1
1.1. Enquadramento do Tema 1
1.2. FORteams LAB 2
1.3. Objetivo da Dissertação 3
1.4. Estrutura e Organização da Dissertação 3
2. Avaliação de Impacto Ambiental na Indústria Têxtil 5
2.1. Contextualização 5
2.2. Caracterização das Fases do Ciclo de Vida 5
2.2.1. Fases do Ciclo de Vida da Produção de Acrílico Virgem 6
2.2.2. Fases do Ciclo de Vida da Produção de Acrílico Reciclado 7
2.2.3. Fases de Produção dos Gorros 8
2.3. Estado de Arte sobre a ACV na indústria têxtil 9
2.4. Estado da Arte relativo à Neutralidade Carbónica na indústria têxtil 11
3. Metodologia 13
3.1. Enquadramento 13
3.2. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) 13
3.3. Neutralidade Carbónica 15
3.3.1. Pegada de Carbono 15
3.3.2. Norma Internacional ISO 14064 16
3.3.3. Greenhouse Gas Protocol 17
3.3.4. Mitigação e Compensação 18
4. Resultados e Discussão 20
4.1. Objetivo do Estudo 20
4.2. Unidade Funcional e Fronteiras do Sistema 20
4.2.1. Unidade Funcional 20
4.2.2. Fronteiras do Sistema 20
4.3. Indicadores de Impacto Ambiental 23
4.4. Análise de Inventário 25

4.4.1. Inventário da Produção da Fibra de Acrílico 25
4.4.2. Inventário associado ao transporte da matéria-prima 27
4.4.3. Inventário do Processo de Produção dos Gorros 28
4.4.4. Inventário do transporte do produto final 29
4.4.5. Inventário da Fase do Uso 30
4.4.6. Inventário do Fim de Vida 32
4.5. Avaliação dos Impactes 32
4.5.1. Fio Acrílico Virgem 33
4.5.2. Fio de Acrílico Reciclado 37
4.6. Avaliação Comparativa 41
4.6.1. Normalização 42
4.6.2. Análise de Monte Carlo 44
4.6.3. Análise de Sensibilidade 47
5. Avaliação das emissões de GEE na FORteams LAB (Resumo do estudo elaborado pelo CITEVE) 50
5.1. Fronteiras 50
5.1.1. Fronteira Organizacional 50
5.1.2. Fronteira de Reporte 50
5.2. Inventário de GEE 51
5.2.1. Emissões Âmbito 1 51
5.2.2. Emissões Âmbito 2 51
5.2.3. Emissões do Âmbito 3 52
5.3. Conclusões 52
5.4. Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB 53
6. Recomendações para a melhoria de desempenho da FORteams LAB 56
6.1. Ao nível do Processo Produtivo 56
6.2. Na transição para a Neutralidade Carbónica 57
7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros 58
Referências Bibliográficas 60
Anexos 65
Anexo A: Composição do acrílico reciclado 66
Anexo B: Fotografias da empresa 67
Anexo C: Diagramas de Rede dos Processos de Produção 68
Anexo D: Dados do Ecoinvent 70
Anexo E: Potência do processo de tratamentos dos resíduos de acrílico 74
Anexo F: Energia Gasta Processo de Fiação 75

Anexo G: Máquinas utilizadas na produção dos gorros e respetivas potências 76

Anexo H: Informações do detergente, das emissões para a água derivadas e da energia e água gasta nas lavagens 77

Anexo I: Contribuição relativa do Impacto dos 50 gorros 79

Anexo J: Resultados da Análise de Sensibilidade 80

Anexo K: Dados do Relatório da Pegada de Carbono do CITEVE 84

Índice de Figuras

Figura 1- Diagrama do processo de fabrico de fibra de acrílico [4]: fiação a seco (Dry spinning) – à esquerda, e fiação húmida (Wet spinning) – à direita. 6
Figura 2- Diagrama de tratamento dos resíduos de acrílico. 7
Figura 3- Diagrama das etapas da produção de um gorro. 8
Figura 4- Impactos dos diferentes tipos de fibra nas alterações climáticas [19] 10
Figura 5- Impactos dos diferentes tipos de fibra na toxicidade humana [19] 10
Figura 6- Fases e aplicações de uma ACV [26]. 14
Figura 7- Relação entre as partes da norma ISO 14064. Adaptado da ISO 14064 (2019) [27]. .. 17
Figura 8- Visão geral dos âmbitos e emissões ao longo de uma cadeia de valor [32]. 18
Figura 9- Fases do ciclo de vida dos gorros de 100% acrílico virgem. 22
Figura 10- Fases do ciclo de vida dos gorros de acrílico reciclado. 23
Figura 11- Destinos finais dos resíduos têxteis, no ano de 2017, segundo Pulse of the Fashion Industry [45]. 32
Figura 12- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem, considerando a etapa de uso. 36
Figura 13- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem, sem considerar a etapa de uso. 36
Figura 14- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico 100% reciclado, considerando a etapa de uso. 40
Figura 15- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico 100% reciclado, sem considerar a etapa de uso. 40
Figura 16- Representação gráfica da contribuição relativa para o valor máximo calculado para cada categoria da produção de 50 gorros de fio de acrílico virgem e de fio de acrílico reciclado. 41
Figura 17- Representação gráfica da contribuição relativa para o valor máximo calculado para cada categoria da produção de 50 gorros de acrílico virgem e reciclado desconsiderando a utilização. 42
Figura 18- Valores de Normalização para o ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem (adimensional). 43
Figura 19- Valores de Normalização para o ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico reciclado (adimensional). 44
Figura 20- Análise comparativa de Monte Carlo. 46
Figura 21- Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem com proveniências diferentes, resultante da alteração do mix energético e da alteração da distância e meio de transporte (barras a verde: Turquia; barras a azul: Espanha). 47
Figura 22- Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem por alteração do detergente utilizado na fase de uso (barras a verde: detergente típico [19]; barras a azul: detergente da biblioteca do SimaPro). 48
Figura 23- Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de acrílico virgem com meios de transporte do produto final diferentes. 49
Figura 24- Destinos finais de gorros de merchandising desportivo. 54
Figura 25- Destinos finais de gorros de dia a dia. 54
Figura 26- Destinos finais de cachecóis de merchandising desportivo. 54
Figura 27- Destinos finais de cachecóis de dia a dia. 55

Índice de Tabelas

Tabela 1- Tipos de fibras [4]. 1
Tabela 2- Fases de ciclo de vida dos gorros. 5
Tabela 3- Características físicas da unidade funcional (50 gorros). 20
Tabela 4- As 18 categorias de impacto da metodologia ReCiPe 2016 Midpoint. 24
Tabela 5- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção da fio de acrílico virgem. 26
Tabela 6- Inventário das saídas do ciclo de vida na fase de produção da fio de acrílico virgem.26
Tabela 7- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção da fio de acrílico reciclado. 27
Tabela 8- Inventário dos transportes da matéria-prima. 28
Tabela 9- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção dos gorros (com fio de acrílico virgem e com fio de acrílico reciclado). 29
Tabela 10- Inventário do transporte do produto final até ao consumidor. 29
Tabela 11- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase do uso. 31
Tabela 12- Inventário das emissões para a água na fase do uso. 31
Tabela 13- Inventário das saídas do ciclo de vida na fase de fim de vida. 32
Tabela 14- Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de acrílico virgem considerando a etapa de uso. 34
Tabela 15 - Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de acrílico virgem sem considerar a etapa de uso. 35
Tabela 16- Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de fio de acrílico reciclado considerando a etapa de uso. 38
Tabela 17- Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de fio de acrílico reciclado sem considerar a etapa de uso. 39
Tabela 18 – Erro Padrão 45
Tabela 19- Emissões de Âmbito 3 totais e por categoria consideradas na avaliação da pegada de carbono da FORteams LAB [55]. 52
Tabela 20 - Inquérito sobre a utilização de gorros: Número de aquisições por tipo de produtos. 53
Tabela 21- Inquérito sobre a utilização de gorros: Média das respostas obtidas, por tipo de produto. 53
Tabela 22- Inquérito sobre a utilização de gorros: Percentagem de descarte por tipo de produto. 53

Acrónimos

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

APCER – Associação Portuguesa de Certificação

BAT – *Best Available Techniques*

CITEVE – Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal

Feu – *Freshwater Eutrophication* (Eutrofização de água doce)

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Fex – *Freshwater Ecotoxicity* (Ecotoxicidade de água doce)

FPMF – *Fine Particulate Matter Formation* (Formação de Matéria Fina Particulada)

FRSc – *Fossil Resource Scarcity* (Escassez de Recursos Fósseis)

GEE – Gases de Efeito Estufa

GHG Protocol– *Greenhouse Gas Protocol*

GW – *Global Warming* (Aquecimento Global)

HCTx – *Human Carcinogenic Toxicity* (Toxicidade Carcinogénica Humana)

HnCTx – *Human Non-Carcinogenic Toxicity* (Toxicidade Não Carcinogénica Humana)

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

Irad – *Ionising Radiation* (Radiação Ionizante)

ISO – *International Organization for Standardization*

LU – *Land Use* (Uso do Solo)

Meu – *Marine Eutrophication* (Eutrofização Marinha)

Mex – *Marine Ecotoxicity* (Ecotoxicidade Marinha)

MRSc – *Mineral Resource Scarcity* (Escassez de Recursos Minerais)

NIR – *National Inventory Report* (Relatório do Inventário Nacional)

OzFHH – *Ozone Formation, Human Health* (Formação de Ozono, Saúde Humana)

OzFTE – *Ozone Formation, Terrestrial Ecosystems* (Formação de Ozono, Ecossistemas Terrestres)

PC – Pegada de Carbono

RARU – Relatório Anual Resíduos Urbanos

RNC2050 – Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SozD – *Stratospheric Ozone Depletion* (Depleção do Ozono Estratosférico)

Tac – *Terrestrial Acidification* (Acidificação Terrestre)

TEx – *Terrestrial Ecotoxicity* (Ecotoxicidade Terrestre)

UF – Unidade Funcional

WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*

WC – *Water Consumption* (Consumo de água)

WRI – *World Resources Institute*

Unidades

kg – quilograma

km – quilómetro

kWh – quilowatt hora

m^3 – metro cúbico

tkm – tonelada quilómetro

kg CO_2 eq – quilograma de dióxido de carbono equivalente

kg CFC-11 eq – quilograma de tricloromonofluormetano equivalente

kBq Co-60 eq – quilograma de cobalto-60 equivalente

kg NOx eq – quilograma de óxidos de azoto equivalente

kg $PM_{2,5}$ eq – quilograma de partículas finas equivalente

kg SO_2 eq – quilograma de dióxido de enxofre equivalente

kg P eq – quilograma de fósforo equivalente

kg N eq – quilograma de azoto equivalente

kg 1,4-DCB – quilograma de 1,4-diclorobenzeno equivalente

m^2a crop eq – metro quadrado de colheita por ano

kg Cu eq – quilograma de cobre equivalente

kg oil eq – quilograma de petróleo equivalente

1. Introdução

1.1. Enquadramento do Tema

Com o aumento da população mundial, a procura por roupa segue uma trajetória similar. Devido a esse aumento do consumo, as indústrias têxtil e de vestuário, assumiram um papel muito relevante no panorama económico, constituindo a indústria têxtil, a quarta maior indústria de produção a nível mundial [1, 2].

Os produtos têxteis são fabricados a partir de uma grande variedade de fibras naturais e sintéticas, sendo necessários vários procedimentos para colocá-los no mercado, incluindo pré-tratamento, corte, costura, tricô, tingimento/ lavagem e acabamento [3]. A Tabela 1 apresenta diferentes tipos de fibras e as suas classificações de acordo com a sua origem.

Tabela 1- Tipos de fibras [4].

Origem	Categoria	Exemplos de fibras
Fibras Naturais	Fibras Animais	Seda Lã
	Fibras Vegetais	Algodão Juta
	Fibras Inorgânicas	Amianto
Fibras Artificiais	Síntese de polímeros	Nylon Acrílico Poliéster
	Alteração de fibras naturais	Tencel Viscose

Em 2020, constatou-se que as fibras sintéticas constituem a maioria (62%) das fibras produzidas mundialmente, sendo que o poliéster tem a maior representatividade (52%) e o acrílico corresponde apenas a 1,6%. Nas fibras naturais, o algodão assume um maior destaque na produção (24%) [5].

Segundo um estudo da Associação Têxtil e Vestuário de Portugal de 2019 [6], a indústria têxtil e de vestuário é responsável por mais de 7% das exportações mundiais, empregando aproximadamente 2,6 milhões de pessoas na produção de vestuário para satisfazer a procura dos consumidores. Portugal é um dos principais produtores europeus, ocupando o sexto lugar em termos de volume de negócio e o quarto no que respeita ao emprego. É um dos setores mais importantes da economia nacional, representando cerca de 10% das exportações nacionais, 8% do volume de negócios e 19% do emprego da indústria transformadora. No entanto, esta indústria está diretamente relacionada com variados problemas ambientais. A produção de matéria-prima, como fios de fibra natural e de fibras artificiais, assim como a lavagem, exigem uma quantidade significativa de energia. Adicionalmente, a indústria têxtil requer muita água, tanto para a produção, como para o cultivo de algodão e outras fibras.

De acordo com o *World Bank* [7], estima-se que a produção têxtil mundial seja responsável por cerca de 20% da poluição da água potável devido aos compostos utilizados nas operações de tingimento e de acabamento. É também mencionado, pelo Parlamento Europeu, que a lavagem de sintéticos implica que cerca de meio milhão de toneladas de microfibras cheguem anualmente aos oceanos, levando para que este setor seja o segundo maior contribuinte para a poluição do meio aquático.

Na União Europeia, de acordo com Dalia Yacout e M.Hassouna [8], são descartadas cerca de 5,8 milhões de toneladas de têxteis e recicladas apenas 1,5 milhões de toneladas (25%). As restantes são encaminhadas para aterros sanitários ou para incineração. Segundo os dados do RARU de 2020 [9], só em Portugal Continental, cerca de 4% de todos os resíduos produzidos correspondem a resíduos têxteis.

Considerando a representatividade do setor têxtil no cômputo global dos impactos ambientais, entendeu-se que seria interessante perceber quais os benefícios que poderiam decorrer de fazer a transição para um processo de fabrico mais sustentável, tanto na perspetiva de uma empresa, como na perspetiva da sustentabilidade global. Este constitui o enquadramento e o mote para a presente dissertação, que foi desenvolvida em meio empresarial com o apoio da FORteams LAB.

1.2. FORteams LAB

O trabalho aqui apresentado foi realizado no âmbito de um estágio curricular na empresa FORteams LAB, em colaboração com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) na componente relativa à avaliação de ciclo de vida (ACV), e com o Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal (CITEVE), no projeto relativo à neutralidade de carbono da mesma empresa.

A FORteams LAB delineou, em 2020, um Plano Estratégico de Sustentabilidade, com vista a identificar qual a operacionalização adequada à estratégia nele definida. O resultado da análise conduziu a uma impactante transformação ao nível da sustentabilidade empresarial, que implicou mudança a três níveis: social, financeiro e ecológico. A nível ambiental, a FORteams LAB tem dois objetivos prioritários: a substituição da matéria-prima original por matéria-prima reciclada e a maximização do aproveitamento dos resíduos de produção (promovendo a economia circular com o aproveitamento desses desperdícios na produção da matéria-prima reciclada).

A matéria-prima original, utilizada no processo produtivo deriva de combustíveis fósseis (acrílico) e, portanto, a forma mais impactante de promover sustentabilidade ecológica na empresa seria a substituição da mesma. Assim, surgiu o projeto LOOP, que permite o desenvolvimento de novas matérias-primas a partir de resíduos do processo produtivo. Para este projeto, a FORteams LAB recolhe os seus resíduos de 100% acrílico e entrega no parceiro de tratamento de resíduos, que efetua a sua reciclagem. De seguida recolhe a pasta resultante do tratamento e entrega-a ao parceiro de fiação, obtendo bobines de fio mesclado, de acrílico 100% reciclado [10].

Ainda numa abordagem do Plano Estratégico de Sustentabilidade, foi proposta pelo CITEVE a quantificação e reporte das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) das instalações da

empresa, com o objetivo de criar um *roadmap* para a neutralidade carbónica e dar assistência técnica na definição e implementação de um sistema de gestão ambiental que abranja as atividades desenvolvidas pela FORteams LAB [11, 12].

1.3. Objetivo da Dissertação

O principal objetivo desta dissertação, é a avaliação dos impactos ambientais do processo produtivo de uma indústria têxtil, mais concretamente da empresa FORteams LAB. Para tal foi realizado um estudo de avaliação de ciclo de vida (ACV) de dois produtos têxteis (gorro de acrílico virgem e gorro de acrílico reciclado), efetuado com o auxílio do programa SimaPro, compreendendo as etapas de: produção da matéria-prima (fio de acrílico), tricotagem, corte, costura, acabamentos finais, embalamento, transportes, utilização e fim de vida. Foi também efetuado o cálculo da pegada de carbono (PC) da organização, em pareceria com o CITEVE.

O SimaPro e o GaBi são os principais programas utilizados para estudos de ACV. Com o SimaPro podem ser realizadas escolhas conscientes, cálculos avançados e evitar pressupostos ocultos, uma vez que o programa permite visualizar todos os detalhes das bases de dados, processos unitários, redes de fornecimento, resultados e cada fonte individual de impacto. Por esses motivos, e pelo facto da FEUP ter licença desse programa, optou-se pela utilização do SimaPro para o estudo de ACV da presente dissertação [13].

Através deste estudo, associado a cada uma das etapas de produção dos gorros acrílicos, é possível identificar as fases do ciclo de vida do produto com maior impacto ambiental, que se constituem como os pontos críticos onde se pode atuar para um melhor desempenho desta empresa, comparar potenciais impactos relacionados com a escolha da matéria-prima e propor recomendações para a sua minimização.

1.4. Estrutura e Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 7 capítulos, em relação aos quais se apresenta uma breve exposição do que será abordado em cada um deles.

O **Capítulo 1**, ou Introdução, contém uma contextualização atual do setor têxtil, assim como, um enquadramento da empresa e da sua abordagem sustentável. É ainda apresentado o objetivo da dissertação e identificada a sua estrutura.

No **Capítulo 2** é apresentada uma revisão de artigos científicos relativos à ACV (avaliação de ciclo de vida) e à neutralidade carbónica no setor, assim como algumas conclusões relacionadas com os seus impactos ambientais.

O **Capítulo 3** expõe a metodologia utilizada no estudo da ACV dos dois produtos, seguindo a NP EN ISO 14040:2008 e a ISO 14044:2006, bem como a metodologia utilizada no cálculo da PC (pegada de carbono) seguindo a ISO 14064 e o *Greenhouse Gas (GHG) Protocol.*

O **Capítulo 4** apresenta os resultados obtidos e a sua respetiva discussão. Primeiramente são apresentados os objetivos, fronteiras e indicadores de aspetos ambientais utilizados na ACV, seguidos da avaliação de dois processos de fabrico de gorros com matérias-primas diferentes e

a sua respetiva comparação. Esta estrutura visa facilitar a perceção dos impactos das diferentes fases de vida dos produtos. É ainda feita uma comparação entre os dois materiais e realizada uma análise de sensibilidade e incerteza.

No **Capítulo 5** são resumidos os resultados obtidos por parte da análise do CITEVE, relativos à neutralidade carbónica, e são identificadas as áreas de potencial intervenção.

O **Capítulo 6** apresenta recomendações, cientificamente fundamentadas, de possíveis melhorias ao nível do setor.

Por fim, no **Capítulo 7** é realizada uma discussão das conclusões retiradas da avaliação de impactos e feitas recomendações e comentários sobre os desenvolvimentos futuros.

2. Avaliação de Impacto Ambiental na Indústria Têxtil

2.1. Contextualização

Este capítulo pretende contextualizar a temática a ser estudada, mais concretamente, os processos e fases de vida dos produtos têxteis avaliados ao longo da dissertação. É realizada, ainda, uma revisão de artigos científicos relativos a esta temática para um melhor enquadramento científico e melhor compreensão dos resultados.

A avaliação do impacto ambiental destes produtos é de elevada relevância, uma vez que, através do seu estudo, associado a cada uma das etapas do ciclo de vida, é possível identificar as fases do produto com maior impacto, que constituem os pontos críticos para se conseguirem identificar estratégias que permitam melhorar o desempenho ambiental do produto e da empresa.

2.2. Caracterização das Fases do Ciclo de Vida

Genericamente, as fibras têxteis são processadas de forma semelhante, independentemente da sua origem. O processo inicia-se com a produção das fibras em bruto, segue-se a sua recolha e preparação para serem fiadas por moinhos de fiação (conversão da fibra em fio). Os fios produzidos podem, eventualmente, ser sujeitos a outros pré-tratamentos, antes de serem transformados em tecido (tricotagem ou tecelagem). Depois, os tecidos são cortados e cosidos, criando-se as peças de vestuário prontas a serem transportadas para os distribuidores, armazenistas e retalhistas, para posterior venda ao consumidor final.

Durante as diferentes fases de produção e para distribuição das peças de vestuário, é necessária a utilização de diversos meios de transporte, com distâncias de viagem muito variáveis (curta a longa distância) [14].

O presente estudo centra-se na produção e utilização de gorros de acrílico virgem e acrílico reciclado que, apesar de terem o fio acrílico como base de produção, a matéria-prima que os constitui não provém da mesma origem e os processos de transformação também são distintos.

Assim, na Tabela 2, serão apresentadas as diferentes fases de ciclo de vida destes gorros que, de forma sumária, incluem:

Tabela 2- Fases de ciclo de vida dos gorros.

Gorro de acrílico virgem	**Gorro de acrílico reciclado**
	. Transporte dos resíduos
. Produção da matéria-prima (fio acrílico virgem)	. Tratamento dos resíduos têxteis
	. Fiação
. Transporte da matéria-prima	. Transporte da matéria-prima
. Produção do gorro (tricotagem, confeção e embalagem)	. Produção do gorro (tricotagem, confeção e embalagem)
. Transporte do produto final	. Transporte do produto final
. Uso	. Uso

Gorro de acrílico virgem	**Gorro de acrílico reciclado**
. Fim de Vida	. Fim de Vida

2.2.1. Fases do Ciclo de Vida da Produção de Acrílico Virgem

Devido ao seu calor e toque semelhante a lã, o acrílico é geralmente escolhido como uma alternativa mais económica do que a lã de caxemira e é, por isso utilizado, numa vasta gama de aplicações têxteis. As fibras acrílicas são produzidas a partir de poliacrilonitrilo e através de dois métodos diferentes de fiação, fiação a seco (*Dry spinning)* e fiação húmida (*Wet spinning)* [15].

De forma geral, no primeiro método, o polímero é dissolvido num solvente adequado, como a N, N-dimetilformamida ($(CH_3)_2NCHO$) e extrudido através de uma fieira, sendo que o solvente se evapora. Trata-se de um processo mais direto onde são necessários apenas um solvente e uma instalação de recuperação do mesmo.

Já no segundo método, a solução polimérica é extraída num banho precipitante aquecido, contendo glicerol ou outro agente coagulante adequado. Este é um processo complexo que envolve a lavagem e o branqueamento da fibra antes da sua utilização [4, 16].

Na Figura 1 é possível observar um diagrama com os processos necessários à produção do fio de acrílico.

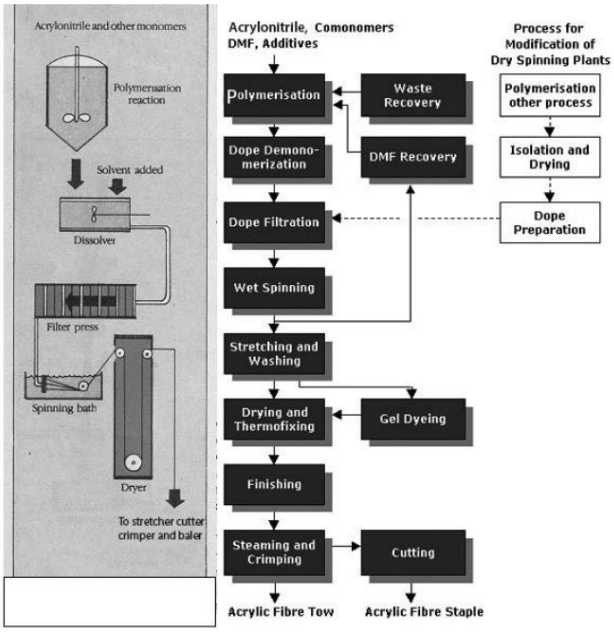


Figura 1- Diagrama do processo de fabrico de fibra de acrílico [4]: fiação a seco (Dry spinning) – à esquerda, e fiação húmida (Wet spinning) – à direita.

2.2.2. Fases do Ciclo de Vida da Produção de Acrílico Reciclado

O acrílico reciclado provém da recolha, armazenamento e processamento dos resíduos têxteis provenientes da fase da produção da empresa. Atingida a quantidade de resíduos necessária para o processo, cerca de uma tonelada, estes são encaminhados para o parceiro de tratamento de resíduos. Segundo informação proveniente do parceiro de tratamento de resíduos, após uma série de processos de transformação, explícitos no diagrama da Figura 2 e de seguida descritos, a pasta resultante do tratamento é recolhida e entregue no parceiro de fiação, que a vai transformar e proceder à fiação do acrílico, obtendo-se no final bobines de fio mesclado de acrílico 100% reciclado.

Assim, os resíduos de têxteis de acrílico entram na cortadora rotativa, onde sofrem um corte do tipo tesoura por duas lâminas de 700 mm e seguem através de transporte pneumático para a câmara de mistura, que recolhe os tecidos cortados. Nessa câmara, os tecidos cortados passam por filtros antes de, novamente por transporte pneumático, passarem para a trituradora. Os resíduos passam, então, pelo condensador e terminam no processo de produção da pasta no acumulador com prensa, que consiste num corpo de prensagem e num acumulador, onde as fibras são armazenadas e prensadas.

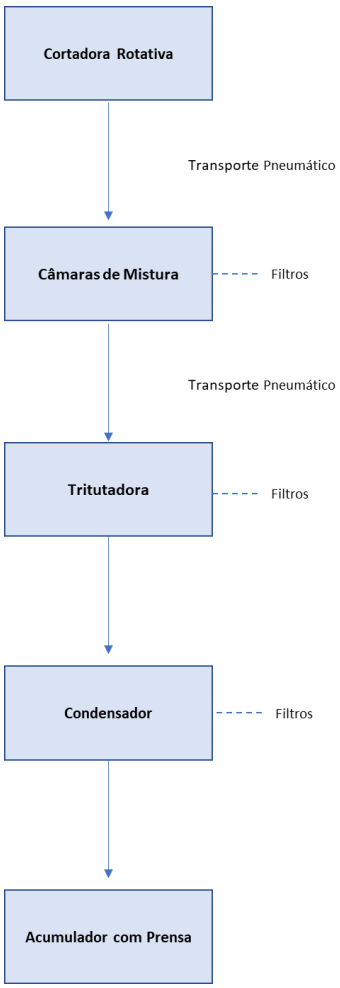


Figura 2- Diagrama de tratamento dos resíduos de acrílico.

O processo seguinte, de fiação [17], é um processo mecânico que consiste no conjunto de operações necessárias à transformação das fibras têxteis em fios. Este processo tem início com a preparação da fiação e é constituído pelas operações de:

- Depuração, no qual se englobam todos os tratamentos cuja finalidade é separar a fibra em bruto das matérias contaminantes que a ela se encontram ligadas;
- Preparação, que inclui uma primeira etapa de tratamentos sobre a matéria mais ou menos individualizada, com o objetivo de continuar a limpeza e uma segunda etapa que visa a redução da massa fibrosa por unidade de comprimento.

Após o tratamento da matéria-prima, esta segue para a fiação propriamente dita onde é reduzida à espessura final pré-fixada, obtendo-se a consistência necessária à sua posterior utilização, através da aplicação simultânea de estiragem e torção [18]. Apesar de o parceiro de fiação não ter fornecido dados sobre os processos realizados, conseguiu adiantar que se trata de uma fiação por rotor (*open-end).*

No CITEVE foi testada, uma tonelada de fio 100% acrílico reciclado a partir da produção de resíduos da empresa. Depois, foram testados todos os resíduos (produto acabado de stock morto com resíduos de produção) com composições mistas (acrílico, poliéster, algodão, viscose), constatando-se que o fio que tinha um melhor comportamento nos processos de produção era a de 100% de acrílico, com a adição de alguns componentes também provenientes de resíduos da empresa. A análise e composição desse fio encontra-se no Anexo A.

2.2.3. Fases de Produção dos Gorros

O fio de acrílico virgem e o fio de acrílico reciclado, são sujeitos aos mesmos processos para dar origem ao produto final (gorro). Esses processos apresentam-se, por ordem de ocorrência, na Figura 3, e são descritos de seguida. Esta informação foi obtida durante a visita à fábrica, constando no Anexo B as fotografias dos equipamentos utilizados.

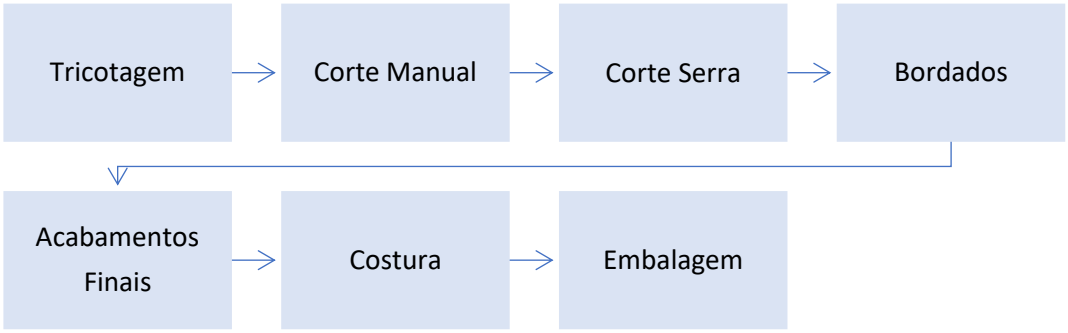


Figura 3- Diagrama das etapas da produção de um gorro.

A **tricotagem** consiste na produção de malhas através do entrelaçamento de fios utilizando técnicas de formação de laçadas. As malhas são estruturas têxteis produzidas por um só sistema de fios que formam laçadas, que se entrelaçam umas nas outras (malhas de trama) ou que cruzam diferentes fios entre si (malhas de teia) [17].

A **confeção** é a fase em que se juntam os diferentes componentes dos artigos através de costuras formadas por pontos [19]. Esta etapa engloba todos os processos definidos como:

- **Corte manual** realiza-se um corte do conjunto de tecido que sai da tricotagem, com o objetivo de apenas separar;
- **Corte de serra**, procedimento no qual o tecido é cortado conforme um molde do gorro;
- **Bordados**, fase durante a qual são acrescentados quaisquer logótipos ou motivos gráficos, solicitados pelo cliente. Simultaneamente, noutra máquina, estão a ser produzidos os pompons;
- **Acabamentos Finais**, montagem da peça final;
- **Costura** consiste na montagem da peça de vestuário pela junção dos vários componentes através de costuras, na colocação de etiquetas internas e na junção do pompom;
- **Embalagem**, a última etapa que se destina a melhorar o aspeto dos artigos e a dar-lhes uma apresentação comercial. Para este efeito, a peça passa por processos de: remate (corte das linhas excedentes), dobragem, etiquetagem e embalagem. Assim que terminadas, as peças produzidas são armazenadas até à sua expedição.

2.3. Estado de Arte sobre a ACV na indústria têxtil

Existem alguns estudos e artigos científicos que abordam a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na indústria têxtil. A maioria são relativos à recolha indireta de dados (ou seja, os dados foram disponibilizados por fornecedores da cadeia de abastecimento) e focados em produtos como *t-shirts*. A matéria-prima mais comummente referenciada é o algodão, razão pela qual os estudos com este material são mais completos.

Assim, pode-se constatar, que a literatura disponível para o acrílico, além de escassa, não é coincidente com o produto estudado nesta dissertação (i.e., gorros). Nos artigos encontrados aborda-se uma comparação entre sistemas de produção de diferentes tipos de fibras, ACV da produção da fibra de acrílico e uma revisão do inventário de ciclo de vida (ICV) de roupa.

Um estudo realizado pela Comissão Europeia, denominado de "Potencial de Melhoria Ambiental dos Têxteis" (*Environmental Improvement Potential of textiles*) [19], apresenta uma comparação entre sistemas de produção utilizando diferentes tipos de fibras, tais como: a viscose, a seda, a lã, o algodão, o poliéster e o acrílico, entre outros. A unidade funcional é a produção de 1 kg de tecido acabado.

Apesar da presença significativa da fibra de acrílico no mercado dos têxteis, existe ainda, alguma escassez de informação. No estudo referido [19], os dados de inventário específicos para o acrílico foram encontrados apenas para as fases de produção e tingimento das fibras. Para as outras fases do ciclo de vida foram extrapolados, por similaridade com o de tecido de poliéster.

A mesma ACV, utilizando uma metodologia *ReCiPe* segundo uma perspetiva hierarquista (H), conclui que a produção de matérias-primas (fio), é a principal contribuinte para os resultados globais em cada categoria de impacto ambiental avaliado (alterações climáticas, toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, diversidade de ecossistemas e disponibilidade de recursos). Pela análise dos resultados, é ainda percetível, que o acrílico é a fibra com maior

impacto ambiental nas categorias de alterações climáticas e toxicidade humana (nas Figuras 4 e 5, respetivamente).

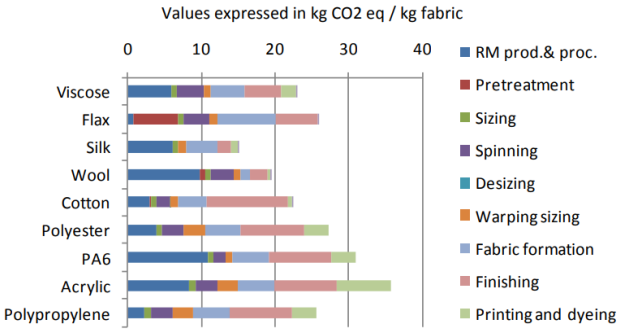


Figura 4- Impactos dos diferentes tipos de fibra nas alterações climáticas [19]

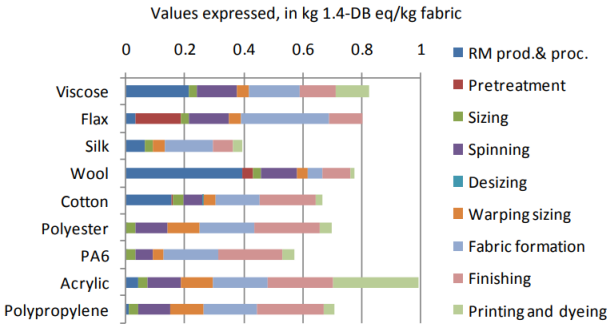


Figura 5- Impactos dos diferentes tipos de fibra na toxicidade humana [19]

O artigo sobre a ACV da produção do fio de acrílico, escrito por Dalia Yacout, M. Abd El-Kawi e M. Hassouna [20], baseia-se na modelação dos efeitos ambientais da produção de 1 kg de fibra acrílica e tem como objetivo a análise dos impactos ambientais da produção da fibra de acrílico e a obtenção de informações que auxiliem a tomada de decisões para melhorar as medidas de proteção ambiental. Tanto o inventário do ciclo de vida como a avaliação do impacto do ciclo de vida dos diferentes processos e produtos foram considerados e classificados de acordo com a metodologia *Eco-indicator 99* do programa SimaPro (versão 7.1).

Os resultados desta ACV mostram que 82,0% do impacto ambiental recai sobre o esgotamento dos combustíveis fósseis, devido ao elevado consumo de energia exigido para a produção de acrilonitrilo, 15,9% do impacto é sobre a saúde humana devido aos compostos químicos inorgânicos utilizados durante o processo de fabrico do produto, e 2,1% sobre a qualidade do ecossistema, atribuído ao impacto da acidificação no ambiente devido ao uso de acrilonitrilo, ácidos e outros compostos químicos na produção da matéria-prima.

O estudo "Avaliação do Ciclo de Vida de Quatro Camisolas Diferentes" *(Life Cycle Assessment of Four Different Sweaters)* de Sarah Nolimal [21], procura preencher lacunas nas avaliações do ciclo de vida do vestuário, utilizando os melhores dados disponíveis sobre vestuário e têxteis e aplicando-os a camisolas que representam algumas das misturas mais comuns (100% algodão, 100% acrílico, 100% lã e 60% algodão – 40% poliéster). O âmbito deste estudo inclui a produção de fibras, a produção do vestuário, o transporte e a sua utilização. Na avaliação dos impactos da

camisola 100% acrílico, foi utilizada a metodologia ReCiPe e os autores concluíram que, para as emissões de gases com efeito de estufa, a fase de utilização da camisola acrílica contribui com uma percentagem significativa das emissões (36,3%), sendo, no entanto, a produção do fio para camisola a etapa com maior contribuição para essas emissões, com 62,8%. No total e por camisola, foram libertados cerca de 85,8 kg CO_2 eq. Em suma, foi notório que a fase de utilização e da produção do fio são as mais relevantes para o impacto ambiental de uma camisola, particularmente nas categorias de potencial de aquecimento global e de oxidação fotoquímica e que as camisolas sintéticas tiveram uma elevada contribuição para o potencial de aquecimento global, devido às suas grandes necessidades energéticas nos processos de produção do fio e das próprias camisolas.

O estudo "Uma revisão sistemática do inventário do ciclo de vida do vestuário" (*A systematic review of the life cycle inventory of clothing*) [22] preenche uma lacuna específica na literatura. Com uma revisão sistemática da literatura, através de uma meta-análise, este estudo sintetiza os dados de inventário publicados para todas as fases do ciclo de vida do vestuário, ajustado a uma unidade funcional comparável de 1 kg de material. Inclui todos os tipos de tecidos sobre os quais foram encontrados estudos publicados. Estes dados são analisados para agrupar cada material, em cada fase do ciclo de vida, de acordo com a intensidade do uso de água, do uso de energia e das emissões de GEE, uma vez que estas foram as categorias de impacto mais relatadas. Nesta revisão, constata-se que as variedades de fibras sintéticas virgens mostram, geralmente, uma utilização de energia mais elevada do que as fibras naturais e as fibras fabricadas com fibras celulósicas, à exceção das sedas. Verifica-se também que o acrílico tem uma boa resposta a nível do uso de água, mas obtém uma má classificação relativamente à emissão de GEE e ao uso de energia. O estudo mostra que a fase de extração da matéria-prima foi a fase do ciclo de vida mais estudada ultimamente, tendo-se verificado que esta também foi a fase com o maior impacto ambiental e que existe uma falta de informação relativamente à fase da produção do vestuário, sendo recomendado o estudo das atividades intermédias como o corte dos tecidos, a costura, os acabamentos e a embalagem. Sintetizando, é possível concluir que não existe muita informação relativamente a estudos de ACV de acrílico em peças têxteis, sendo sugerido nos trabalhos publicados, a necessidade de serem realizados mais estudos nesse âmbito. É reportado também, que as etapas que têm maior impacto são a produção da matéria-prima (acrílico) e a fase do uso. As categorias de impacto ambiental mais afetadas por este ciclo são as alterações climáticas e o esgotamento dos combustíveis fosseis, devido a um elevado consumo energético.

2.4. Estado da Arte relativo à Neutralidade Carbónica na indústria têxtil

Segundo o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 [23], a neutralidade carbónica consiste no valor nulo de emissões líquidas de gases com efeito de estufa, tendo em conta o total nacional de emissões. Neste roteiro, está definido que todos os setores deverão contribuir para a redução de emissões, aumentando a eficiência e a inovação, promovendo melhorias, nomeadamente na indústria. Assim, o setor têxtil enquadra-se nos setores que devem reduzir as suas emissões líquidas (balanço entre as emissões, a eventual produção de fontes de energia renováveis e captura de GEE).

Relativamente à neutralidade carbónica da indústria têxtil, existem alguns estudos e artigos que, no entanto, focam-se principalmente na pegada de carbono destas indústrias. Ainda assim,

foram analisados alguns desses artigos, nos quais eram mencionados temas como a pegada de carbono para o setor têxtil francês e a pegada de carbono industrial do setor têxtil chinês.

O estudo "Avaliação da Pegada de Carbono para o Sector Têxtil em França" (*Assessment of Carbon Footprint for the Textile Sector in France*) [16], através da utilização de ferramentas de ACV, permitiu obter uma estimativa, da pegada de carbono (PC) de 442 kg CO_2eq/pessoa/ano. Tendo em conta que, segundo o Acordo de Paris [24], é necessário limitar os impactos do aquecimento global a 1,5 ˚C, a indústria têxtil em França teria de reduzir as emissões de GEE para um sexto, ou seja, reduzir a PC de 442 para 74 kg CO_2eq/pessoa/ano. De acordo com este artigo, as ações prioritárias para reduzir a pegada de carbono da indústria têxtil francesa, seriam: relocalizar a produção têxtil para países com eletricidade com baixo teor de carbono, reduzir a quantidade de artigos não vendidos e elaborar um design mais ecológico do produto, integrando o conceito de economia circular. A ação mais determinante para a redução da pegada de carbono, relaciona-se com o mix energético, uma vez que a produção têxtil tem um consumo muito elevado. Apenas com a relocalização da produção têxtil para França, invés de ser concretizada noutros países, as emissões de carbono por kWh podem ser potencialmente reduzidas em 221 kg CO_2eq, devido à mudança do mix energético (conjunto de fontes de energia utilizadas na produção de eletricidade) e à diminuição da distância percorrida pelos meios de transporte. A implementação de todas estas medidas, poderia reduzir a pegada de carbono anual para 43 kg CO_2eq/pessoa/ano, contra os atuais 442 kg CO_2eq/pessoa/ano, ou seja cerca de 10% das emissões originais, excedendo o objetivo de redução (fator de 6) e cumprindo os objetivos do Acordo de Paris.

Um outro estudo, intitulado *"Industrial carbon footprint of several typical Chinese textile fabrics"*(Pegada de carbono industrial de vários tecidos têxteis chineses típicos) [25], selecionou dois tipos de indústrias têxteis típicas na China: lã e algodão. Uma análise comparativa dos resultados dos diferentes tipos de tecidos mostra que a pegada de carbono industrial dos tecidos de lã é quase três vezes superior à dos tecidos de algodão. As diferentes matérias-primas, tecnologias têxteis e cores de tingimento utilizadas resultaram em diferenças na PC. Em termos do total da PC industrial do tecido têxtil, a proporção da PC indireta[1] é maior do que a PC direta[2]. Durante o processo de produção de tecidos têxteis, as emissões indiretas de GEE associadas à eletricidade e vapor de água são muito maiores do que as emissões provenientes da combustão direta de carvão e de petróleo. Concluíram que o consumo de energia, especialmente o de eletricidade, é a principal fonte da PC industrial dos tecidos têxteis. Os resultados do estudo implicam que as principais abordagens para reduzir a PC dos têxteis incluem uma melhor gestão da energia, especialmente da eletricidade, e uma maior eficiência da produção e utilização de materiais.

[1] PC indireta: são as emissões de GEE derivadas do consumo de energia secundária, da utilização de matérias-primas e aditivos de corantes no processo de produção têxtil.
[2] PC direta: são as emissões de GEE derivados da combustão de combustíveis fósseis na fase de produção industrial.

3. Metodologia

3.1. Enquadramento

Na presente dissertação, a ACV dos produtos foi realizada de acordo com os princípios da *International Organization for Standardization* (ISO): ISO 14040:2006 (Gestão Ambiental Avaliação de Ciclo de Vida: Princípios e Enquadramento) e ISO 14044:2006 (Gestão Ambiental Avaliação de Ciclo de Vida: Requerimentos e Diretrizes [26, 27]. A determinação dos potenciais impactos ambientais é realizada através da utilização do programa comercial SimaPro (versão 9.2.0.2, 2021).

A definição da estratégia para alcançar a neutralidade carbónica, segue os princípios estabelecidos na norma ISO 14064-1:2018 (Gases de Efeito Estufa) e no *Greenhouse Gas Protocol* [28, 29].

Recorda-se que a presente dissertação foi desenvolvida em meio empresarial e, como tal, a abordagem seguida, na parte diretamente associado com a empresa (determinação da pegada de carbono e definição da estratégia para a neutralidade carbónica), foi condicionada pelos objetivos e calendarização de operações definidos pela mesma.

3.2. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

De acordo com o mencionado na ISO 14044 [27], a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental que permite avaliar os impactos ambientais de um produto, processo ou atividade, considerando todo o seu ciclo de vida, desde a extração e obtenção de matérias-primas, passando pela produção e fabrico de materiais e pelas fontes de energia envolvidas, até à utilização do produto, ao tratamento que lhe é dado em fim de vida e ao seu destino final. A ACV aborda os aspetos ambientais, como por exemplo as alterações climáticas e a toxicidade humana, e os impactos de um sistema de produto.

De acordo com as normas ISO supramencionadas, a ACV compreende quatro fases: definição do objetivo e âmbito, análise de inventário, avaliação de impactes e interpretação do resultado da avaliação, tal como se observa na Figura 6.

A **definição de objetivo e âmbito** é a primeira etapa da ACV, na qual se estabelece a aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo e os objetivos dos seus resultados. São definidos aspetos técnicos e o nível de detalhe, consoante a unidade funcional (UF), as fronteiras do sistema, os procedimentos de alocação e as categorias de impacto selecionadas.

De seguida ocorre a análise do **inventário** do ciclo de vida, que é um processo iterativo que consiste na recolha de dados e no cálculo para a quantificação das entradas e saídas relevantes de um sistema de produto.

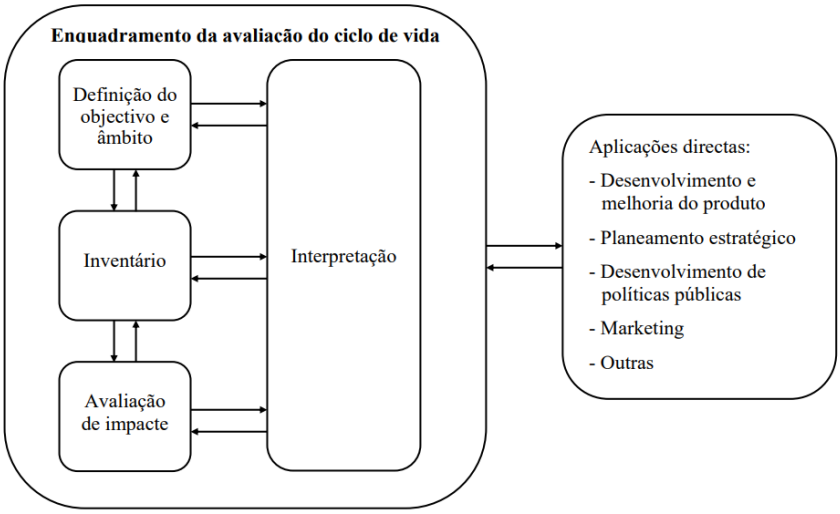


Figura 6- Fases e aplicações de uma ACV [26].

Segundo a ISO 14040 [26], para cada processo unitário dentro das fronteiras do sistema, os dados podem ser classificados em categorias como: entradas de energia, matérias-primas, etc.; produtos, coprodutos e resíduos; emissões e descargas. Após a recolha de dados são necessários procedimentos de cálculo, incluindo a validação dos dados, a relação dos dados com os processos unitários e a relação destes com o fluxo de referência da unidade funcional.

A **avaliação de impactos** destina-se a avaliar a significância dos potencias impactes ambientais, utilizando os resultados obtidos na análise de inventário. Este processo envolve a associação dos dados do inventário a categorias específicas de impacte ambiental (classificação) e a indicadores de categoria, tentando-se compreender as consequências desses impactos.

Esta avaliação é constituída por 4 etapas: Classificação, Caracterização, Normalização e Ponderação. A **Classificação** é uma etapa obrigatória que, respeitando o método selecionado, classifica os fluxos de inventário de acordo com o tipo de impacto ambiental que causam. A **Caracterização**, é também obrigatória e ocorre após a classificação. Todos os fluxos que causam o mesmo impacto são convertidos na mesma unidade representativa. Já a **Normalização** e a **Ponderação**, são etapas opcionais que consistem, respetivamente, na comparação dos resultados obtidos na caracterização com uma situação de referência de pressão sobre o ambiente para cada categoria de impacto ambiental analisada, e na ponderação da importância das categorias de impacto entre si para que seja possível gerar uma única pontuação final.

A última fase da ACV é a **Interpretação**, na qual os resultados das outras fases são considerados em conjunto. Esta fase deve fornecer resultados que sejam consistentes com o objetivo e o âmbito definidos e que permitam obter conclusões, explicar limitações e fazer recomendações [26].

3.3. Neutralidade Carbónica

Como perviamente mencionado, de modo a atingir a neutralidade carbónica em 2050, o governo português aprovou o RNC2050 (Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050) [23], que identifica os principais vetores de descarbonização em todos os setores da economia, as opções de políticas e medidas e a trajetória de redução de emissões para atingir este fim, em diferentes cenários de desenvolvimento socioeconómico. Atingir a neutralidade carbónica em Portugal implica reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em mais de 85%, em relação a 2005, e garantir uma capacidade de sequestro agrícola e florestal de carbono na ordem dos 13 milhões de toneladas. Transitar para uma economia neutra em carbono e operar a transição energética associada implica um investimento significativo nestas áreas.

A FORteams LAB, procurando averiguar o seu potencial de colaboração na transição energética, contratou o CITEVE para calcular a pegada de carbono da empresa e propor um conjunto de medidas que permitisse a redução da mesma. No ponto seguinte sintetiza-se o procedimento seguido.

3.3.1. Pegada de Carbono

A pegada de carbono é a metodologia utilizada para quantificar a emissão de GEE, identificar quais as atividades e/ou processos mais poluentes e ainda determinar possíveis oportunidades de mitigação. Apesar da definição de pegada de carbono não ser exata, a Associação Portuguesa de Certificação (APCER) [30], define-a como, o total de emissões causadas por um indivíduo, evento, organização ou produto, expresso em toneladas de CO_2 ou CO_2 equivalente por ano.

É necessário, no entanto, compreender a definição de gases com efeito de estufa (GEE). Os GEE são gases emitidos através de processos naturais e das atividades humanas que retêm o calor na atmosfera. O GEE mais importante na atmosfera é o vapor de água, porém, as atividades humanas também libertam grandes quantidades de outros GEE que incrementam o efeito de estufa e provoca o aquecimento do clima. As principais fontes desses gases são a queima de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade, nos transportes, na indústria, na agricultura, em aterro de resíduos e com a utilização de fluorados industriais [31].

Na quantificação da pegada de carbono (PC), existem maioritariamente dois tipos de pegada: a organizacional e a do produto. A PC estudada nesta dissertação é a organizacional, no âmbito da qual se quantificam as emissões resultantes das atividades (diretas e/ou indiretas) da empresa.

No cálculo da PC podem ser consideradas emissões diretas, provenientes de fontes que pertencem e/ou são controladas pela empresa (emissões do âmbito 1) e emissões indiretas, ou seja, que são consequência da atividade da empresa, mas que ocorrem em locais externos à organização e não são diretamente controladas pela mesma. As emissões indiretas separam-se em emissões de âmbito 2, referente especificamente às resultantes da geração da eletricidade consumida pela empresa/organização e emissões de âmbito 3, correspondentes às que não são influenciadas diretamente pelo funcionamento da organização, como por exemplo a produção de materiais adquiridos [32].

Apesar de existirem variadas metodologias para o cálculo da PC, as metodologias escolhidas pelo CITEVE foram a norma ISO 14064-1:2018 e o *Greenhouse Gas Protocol* (GHG)[28, 29], descritos nos pontos abaixo.

3.3.2. Norma Internacional ISO 14064

A ISO 14064 é uma norma internacional que tem como principal finalidade orientar as organizações para a mitigação dos GEE. Contém diversas ferramentas para quantificar, monitorizar e verificar a sua emissão, com o objetivo de, posteriormente, reduzir essas emissões. Esta norma inclui três partes:

- **ISO 14064-1: 2018**: onde se apresentam os princípios e requisitos para identificar, monitorizar e reportar as emissões de GEE. Inclui, também, pressupostos para determinar as fronteiras da emissão de GEE, assim como ações e atividades para diminuir estes gases, melhorando o desempenho, da empresa;
- **ISO 14064-2: 2019**: que contém os princípios e requisitos para a determinação da emissão de GEE para projetos, a documentação e comunicação do desempenho do projeto e a gestão da qualidade dos dados;
- **ISO 14064-3: 2019**: na qual se definem os requisitos e estabelecem orientações para validação ou verificação da quantificação das emissões de GEE, das organizações, projetos ou produtos.

Na Figura 7, encontra-se a representação da relação entre as três partes da norma ISO 14064 [28]. É uma norma que tanto pode ser utilizada por organizações como por independentes, para validar ou verificar declarações de GEE, e pode trazer benefícios como:

- a demonstração da integridade da empresa, através da verificação da conformidade com a ISO 14061-1: 2018 e com a ISO 14064-2: 2019, evidenciando que os documentos estão em conformidade com a norma ISO 14064 e isentos de erros;
- o cumprimento de metas validando a ISO 14064-2, que estabelece a integridade do projeto de base;
- a validação do sucesso, uma vez que a ISO 14064-1 fornece a garantia necessária das declarações da pegada de carbono e a ISO 14064-2 valida o projeto, garantindo o valor de redução das emissões alcançadas num determinado período.

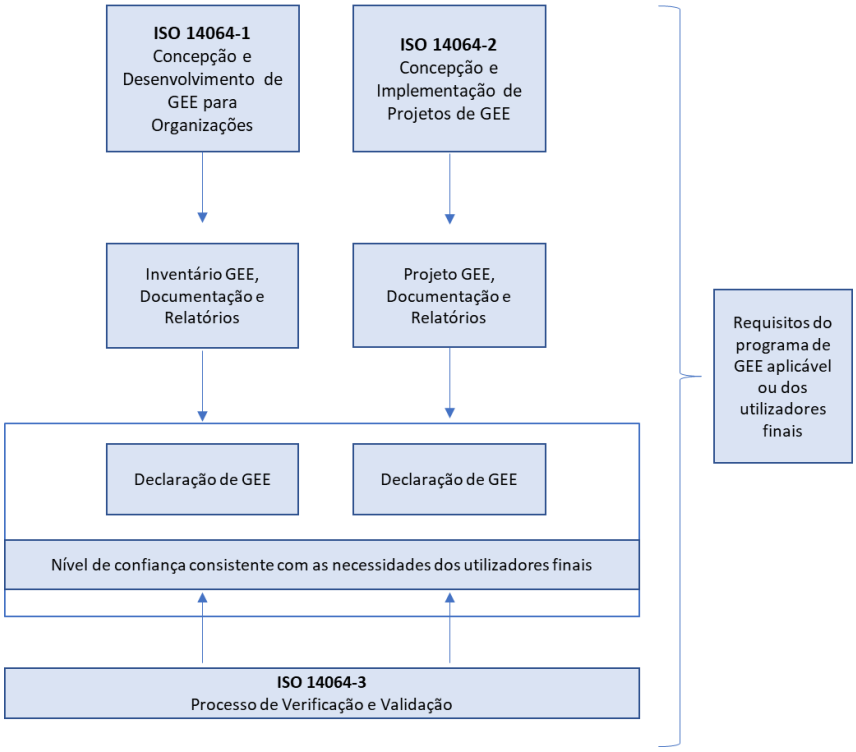


Figura 7- Relação entre as partes da norma ISO 14064. Adaptado da ISO 14064 (2019) [27].

3.3.3. *Greenhouse Gas Protocol*

O Protocolo dos GEE [29] é a metodologia mais adotada para a determinação da pegada de carbono organizacional, sendo utilizado em mais de 1000 empresas em todo o mundo. Foi criado em 2001 pelo *World Resources Institute* (WRI) em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD). Este Protocolo, disponibiliza diversos documentos, entre os quais o *GHG Protocol: Corporate Accounting and Reporting Standard* (Protocolo de GEE Normas Corporativas de Transparência e Contabilização), que contém um guia para as empresas para a quantificação e reporte as emissões de GEE, e *o GHG Protocol: Project Quantification Standard* (Protocolo de GEE Normas de Quantificação de Projeto), que é um guia para a identificação e quantificação das reduções de GEE.

Este método abrange alguns gases que integram o Protocolo de Quioto, como o: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF_6).

De acordo com o *GHG Protocol* [29], as emissões de GEE das organizações, podem ser de três âmbitos (1,2 ou 3), como mencionado acima na descrição da pegada de carbono. A inclusão das emissões do tipo 1 e do tipo 2, é obrigatória, no entanto, as emissões do tipo 3, são facultativas e dependem do objetivo definido para a avaliação da pegada de carbono.

Na Figura 8, estão representados esses âmbitos e são dados alguns exemplos do tipo de emissões.

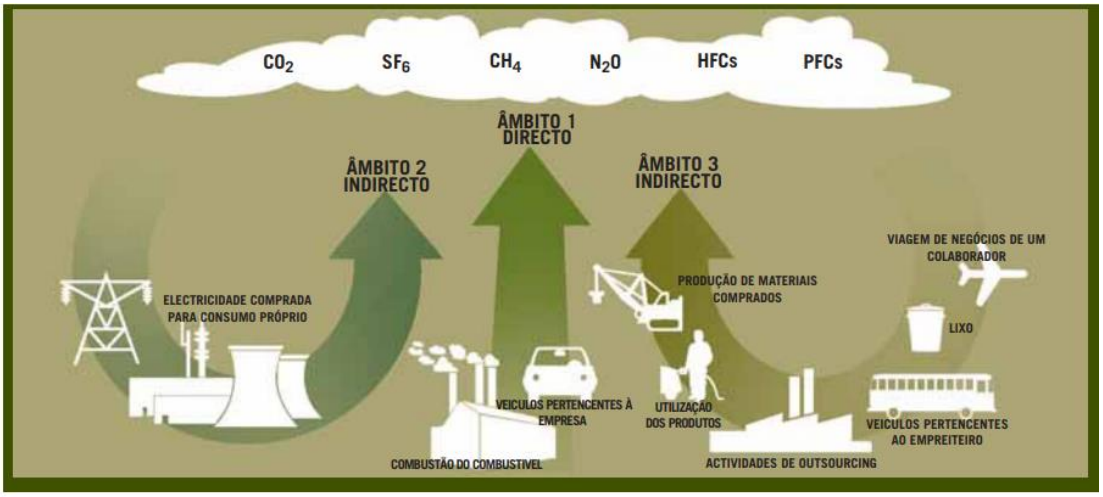


Figura 8- Visão geral dos âmbitos e emissões ao longo de uma cadeia de valor [32].

3.3.4. Mitigação e Compensação

De acordo com o referido no site da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) [33], a mitigação é uma ação de resposta às alterações climáticas que consiste em reduzir as emissões de GEE e aumentar os seus sumidouros, sistemas naturais, como as florestas, que absorvem mais carbono do que aquele que emitem. Assim, as intervenções ao nível da mitigação contribuem para minimizar o efeito de estufa provocado por estes gases e reduzir o aquecimento global do planeta. Como já se salientou, Portugal comprometeu-se a alcançar até 2050 um balanço neutro entre os GEE emitidos e os GEE removidos por sumidouros. Este objetivo é atingido através de instrumentos que regulam as emissões de GEE nos sectores mais críticos da economia e de planos que definem medidas e metas nacionais para essa redução. Ao nível do planeamento para a mitigação contribuem o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) e o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030). Já ao nível do licenciamento, os instrumentos que contribuem para a mitigação são o Comércio Europeu de Licenças de Emissão e o regime de Gases Fluorados.

No RNC2050 [23], refere-se que as sinergias para mitigação e adaptação que se verificam em variadas medidas são um sinal da necessidade da atuação integrada entre as duas vertentes em todas as componentes da sociedade. Assim, a investigação, a inovação e a produção de conhecimento são fundamentais para o processo de definição de políticas sólidas de combate e de adaptação às alterações climáticas. A participação da ciência faz-se aos mais variados níveis:

- na monitorização e acompanhamento das alterações climáticas e na modelação de alterações climáticas futuras e dos seus impactos;
- na estimação rigorosa dos níveis de emissão ou de sequestro que cada processo ou setor produzem e na monitorização e acompanhamento dessas emissões ao longo do tempo;
- no desenvolvimento de estratégias de disseminação e/ou modelos de negócio que permitam a transferência das melhores tecnologias e a sua adoção pelos setores económicos e famílias;
- no desenho de sistemas de incentivos que facilitem a adoção das práticas e tecnologias menos emissoras ou de políticas de desincentivos que dissuadam a continuação ou a adoção de práticas mais emissoras;

- na identificação de estratégias e vetores de descarbonização de longo prazo com vista à neutralidade carbónica.

O objetivo da neutralidade carbónica (e consequente redução dos GEE presentes na atmosfera) pode ser atingindo totalmente a partir de reduções internas nas fontes ou, por outro lado, através do uso de compensações que são geradas a partir de projetos de redução das emissões. O uso de compensações pode ser conveniente quando o custo das reduções internas é muito elevado, quando as oportunidades para as reduções são limitadas ou no caso de a empresa não ser capaz de atingir o seu objetivo, devido a circunstâncias inesperadas. Quando se comunica sobre o objetivo de redução de emissões de GEE, deve ser especificado se foram usadas as compensações de emissões e quantificada essa contribuição.

Atualmente, ainda não há metodologias que sejam aceites universalmente para a quantificação de compensações de GEE, devido à dificuldade associada às incertezas que cercam a contabilização dessa contribuição e à dificuldade em estabelecer a equivalência de uma compensação relativamente à magnitude das emissões internas que se estão a compensar. Por esta razão, segundo o BCSD Portugal [32] e a bem da transparência e da acuidade do reporte, as empresas devem sempre comunicar as suas próprias emissões internas em contas separadas das compensações usadas para atingir o objetivo de neutralidade carbónica.

A credibilidade das compensações usadas para atingir um dado objetivo, deve ser avaliada cuidadosamente e, na comunicação do mecanismo de compensação, deve ser especificada a origem e a natureza dessas compensações, sendo preciso indicar:

- o tipo de projeto;
- a origem geográfica e organizacional;
- o modo de quantificação das compensações;
- reconhecimentos por programas externos.

4. Resultados e Discussão

4.1. Objetivo do Estudo

O principal objetivo deste estudo de ACV, é a comparação do desempenho ambiental de dois tipos de gorros (um em fio acrílico 100% virgem e outro em fio acrílico reciclado), ao longo de todo o ciclo de vida. A unidade de medida corresponde a um conjunto de 50 gorros.

A comparação entre os dois tipos de gorro destina-se a avaliar os potenciais benefícios ambientais da utilização de fio acrílico feito com fibras de acrílico reciclado, por oposição ao tecido de acrílico 100% virgem. Para tal, serão avaliadas as potenciais alterações no desempenho ambiental induzidas pela utilização do fio acrílico reciclado, ou seja, quando são recolhidos os desperdícios, encaminhados para tratamento e posterior fiação e, finalmente, utilizados novamente no processo de confeção dos gorros.

Esta análise permite verificar a influência das várias etapas do ciclo de vida, do ponto de vista ambiental, e permite identificar as principais pressões ambientais destacando em que parte do processo devem incidir as melhorias.

4.2. Unidade Funcional e Fronteiras do Sistema

4.2.1. Unidade Funcional

Nesta dissertação a unidade funcional adotada foi um lote de 50 gorros, por ser uma produção relativamente pequena e por ser mais prático de acompanhar todo o seu processo produtivo, excetuando a etapa da produção da fibra que é adquirida a um fornecedor exterior à empresa. Todas os valores e resultados apresentados ao longo desta dissertação, são por unidade funcional. O processo de fabrico deste lote de gorros teve a duração de 5 dias, porque o processo não se realiza em contínuo.

As características físicas de cada conjunto de 50 gorros, obtidas da empresa e confirmadas nas visitas à fábrica, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Características físicas da unidade funcional (50 gorros).

Composição	100% acrílico
Peso médio (50 gorros)	7,14 kg

4.2.2. Fronteiras do Sistema

As fronteiras do sistema especificam os processos unitários que serão considerados na ACV. Estes são definidos para as diferentes fases do ciclo de vida do produto e devem ser adaptados à precisão potencial que pode ser obtida a partir dos dados disponíveis. O presente estudo de ACV segue uma perspetiva do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*). As fases do ciclo de vida dos gorros em estudo, incluem:

- a produção da matéria-prima (fio de acrílico virgem ou reciclado);
- o transporte da matéria-prima até à empresa;
- o fabrico dos gorros;
- transporte do produto final até ao cliente;
- a utilização dos gorros;
- as diferentes opções de fim de vida.

Todas as emissões (líquidas, gasosas e sólidas) foram consideradas.

À exceção da produção do acrílico virgem ou reciclado, todas as etapas subsequentes do ciclo de vida são comuns, independentemente do tipo de acrílico utilizado. A produção do acrílico virgem consiste na polimerização do poliacrilonitrilo, seguida de duas possibilidades de fiação: fiação a seco (*Dry spinning)* ou fiação húmida (*Wet spinning)*. Já a reciclagem do acrílico consiste no processo de tratamento dos resíduos (corte, trituração e condensação dos resíduos – Figura 2) e no posterior processo de fiação.

A etapa do fabrico dos gorros, inicia-se na tricotagem dos mesmos, um processo que demora cerca de 5h, para tricotar o lote de 50 gorros. Seguidamente, ocorre o corte manual onde não há resíduos nem consumos, razão pela qual este processo não é contabilizado no sistema. O processo seguinte consiste no corte de serra onde ocorre desperdício de acrílico. Simultaneamente fazem- se os pompons.

Os gorros seguem para a máquina de bordados e de seguida são costurados (etapa onde também há desperdício) e o pompom é aplicado manualmente. Por último, o produto final é embalado, cada 10 gorros numa embalagem de plástico e as 5 embalagens de plástico numa caixa de cartão.

A Figura 9 apresenta esquematicamente o ciclo de vida dos gorros com acrílico 100% virgem e a Figura 10 o ciclo de vida dos gorros com acrílico reciclado. No Anexo C encontram-se os diagramas das redes extraídas do SimaPro.

Ressalva-se que, à semelhança da abordagem seguida noutros artigos publicados sobre a mesma temática, a infraestrutura e equipamentos utilizados durante a produção dos gorros foram excluídos das fronteiras desta ACV. Pressupôs-se que, como a infraestrutura e os equipamentos têm um tempo de vida útil prolongado, e são utilizados para a produção de muitos outros produtos têxteis, não se espera que o seu impacto diferenciador seja relevante. O mesmo racional este subjacente à não consideração da manutenção dos mesmos. Adicionalmente, a infraestrutura é maioritariamente comum às duas situações (utilizando acrílico virgem ou reciclado), pelo que este não será o fator que irá distinguir os impactos dos dois ciclos de vida. Os equipamentos utilizados durante o uso do gorro (para a sua lavagem) não foram de igual forma considerados, pelos mesmos motivos.

A análise realizada exclui também do seu sistema, o espaço de armazenamento dos químicos e dos produtos utilizados na produção do acrílico, a manutenção da infraestrutura da empresa, bem como atividades que não estão diretamente relacionados com o sistema de produção, como os serviços administrativos, laboratoriais e outras operações.

Foram, igualmente, excluídos o processo do Corte Manual, visto que este tem um impacto muito residual, e os resíduos de acrílico 100% virgem no fabrico dos correspondentes gorros, uma vez

que estes excedentes são recolhidos e armazenados para serem utilizados como matéria-prima fora dos limites deste sistema

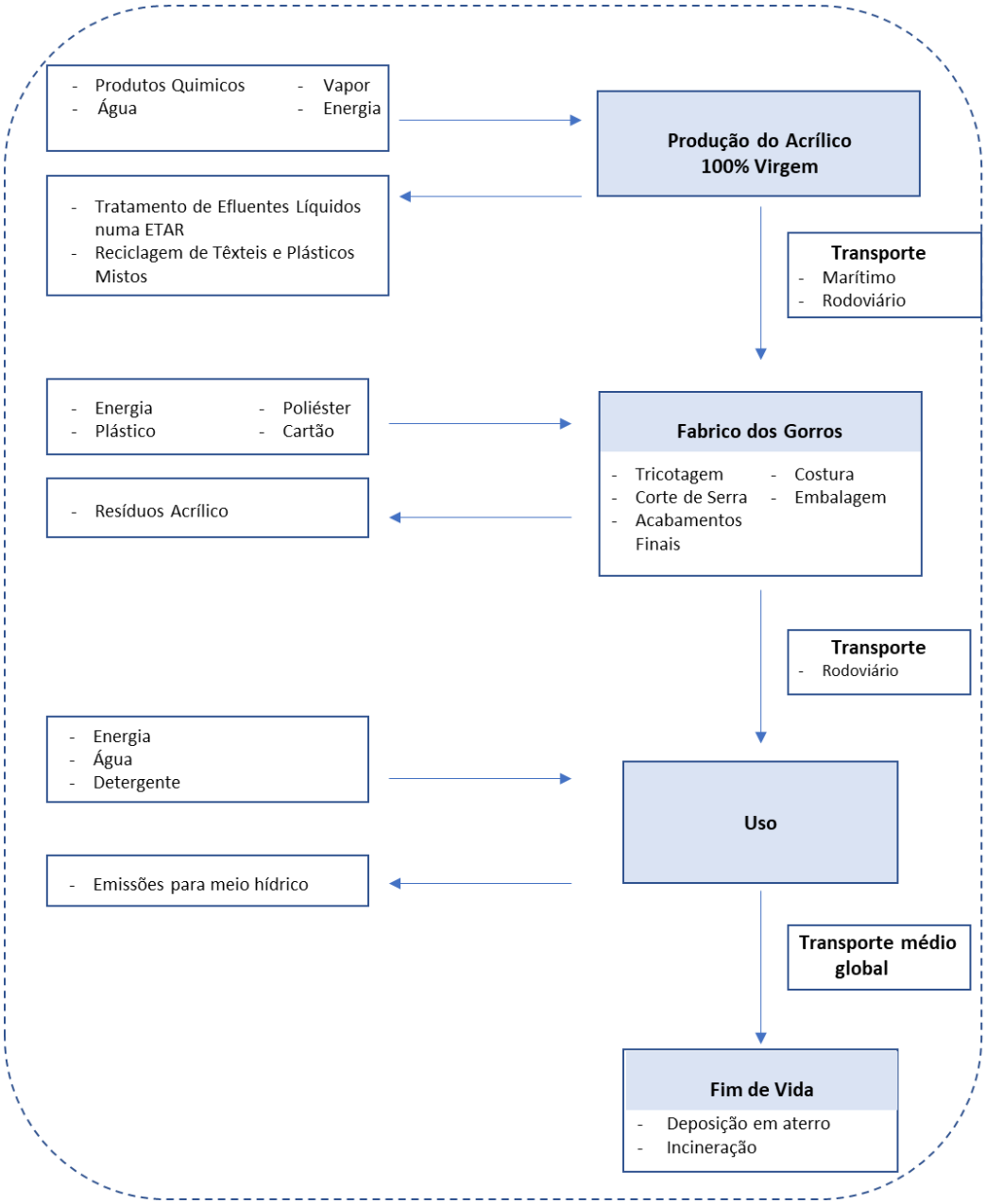


Figura 9- Fases do ciclo de vida dos gorros de 100% acrílico virgem.

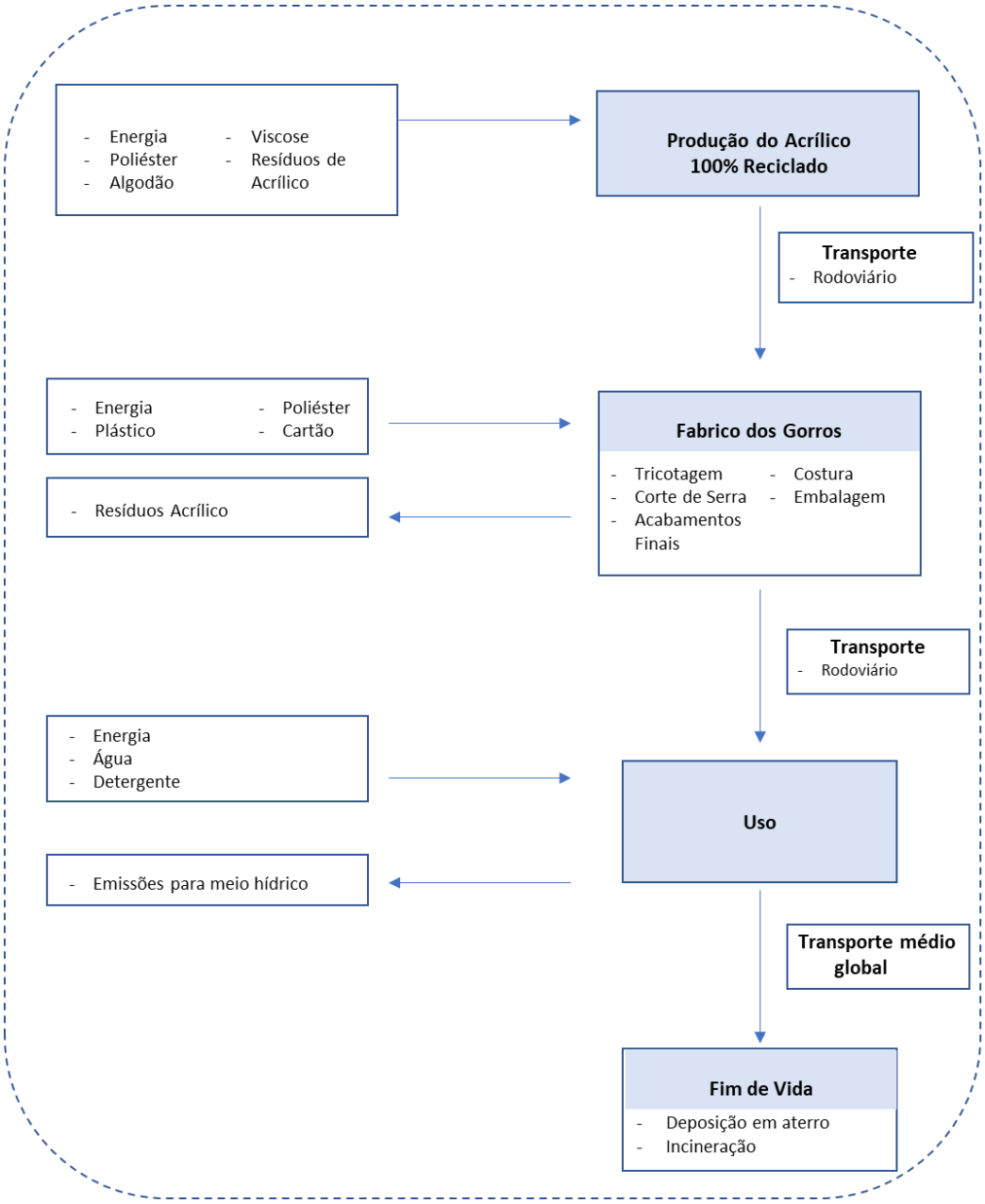


Figura 10- Fases do ciclo de vida dos gorros de acrílico reciclado.

4.3. Indicadores de Impacto Ambiental

Os Indicadores de Impacto Ambiental são as classes de utilização de recursos ou impactos ambientais, com os quais os dados de utilização de recursos e perfil de emissões estão relacionados. A categoria de impacto corresponde à representação quantificável do tipo de impacto ambiental. Um "método de avaliação do impacto do ciclo de vida" pode reunir um ou mais indicadores ambientais, fornecendo uma vasta gama de tipos de impactos avaliados [34].

No presente estudo foi utilizada a metodologia *ReCiPe* 2016 Midpoint (H), com 18 categorias de impacto, uma vez que o *ReCiPe* é um dos mais recentes, completos e atualizados métodos de avaliação de impacto para a ACV [35].

O principal objetivo do método *ReCiPe* [36] é transformar a longa lista de resultados do inventário do ciclo de vida, num número limitado de indicadores, com uma dada pontuação. A pontuação dos indicadores, expressa a gravidade relativa numa categoria de impacto ambiental. Existem indicadores a dois níveis: *midpoint* (ao nível do efeito) e *endpoint* (ao nível do dano).

O método escolhido foi aplicado ao nível *midpoint*, uma vez que esta opção mede o efeito antes da ocorrência dos danos, obtendo-se resultados mais fiáveis [37]. Foi adotada uma perspetiva hierarquista, frequentemente considerada como o modelo padrão, uma vez que se baseia nos princípios políticos mais comuns e abordagens mais ponderadas no que diz respeito a prazos e outras questões, sendo um modelo de consenso.

As categorias de potencial impacto ambiental consideradas encontram-se referidas na Tabela 4. Por este estudo constituir uma das poucas ACV nesta temática, e por forma a garantir que seja o mais completo possível, consideraram-se todas as categorias incluídas na metodologia *ReCiPe*.

Tabela 4- As 18 categorias de impacto da metodologia ReCiPe 2016 Midpoint.

Categoria de Impacto	**Acrónimo**	**Unidade**
Global Warming (Aquecimento Global)	GW	kg CO_2 eq
Stratospheric Ozone Depletion (Depleção do Ozono Estratosférico)	SozD	kg CFC-11 eq
Ionising Radiation (Radiação Ionizante)	Irad	kBq Co-60 eq
Ozone Formation, Human Health (Formação de Ozono, Saúde Humana)	OzFHH	kg NO_x eq
Fine Particulate Matter Formation (Formação de Matéria Fina Particulada)	FPMF	kg $PM_{2,5}$ eq
Ozone Formation, Terrestrial Ecosystems (Formação de Ozono, Ecossistemas Terrestres)	OzFTE	kg NO_x eq
Terrestrial Acidification (Acidificação Terrestre)	Tac	kg SO_2 eq
Freshwater Eutrophication (Eutrofização de água doce)	Feu	kg P eq
Marine Eutrophication (Eutrofização Marinha)	Meu	kg N eq
Terrestrial Ecotoxicity (Ecotoxicidade Terrestre)	TEx	kg 1,4-DCB
Freshwater Ecotoxicity (Ecotoxicidade de água doce)	Fex	kg 1,4-DCB
Marine Ecotoxicity (Ecotoxicidade Marinha)	Mex	kg 1,4-DCB

Tabela 4 (continuação)- As 18 categorias de impacto da metodologia ReCiPe 2016 Midpoint.

Categoria de Impacto	Acrónimo	Unidade
Human Carcinogenic Toxicity (Toxicidade Carcinogénica Humana)	HCTx	kg 1,4-DCB
Human Non-Carcinogenic Toxicity (Toxicidade Não Carcinogénica Humana)	HnCTx	kg 1,4-DCB
Land Use (Uso do Solo)	LU	m^2a crop eq
Mineral Resource Scarcity (Escassez de Recursos Minerais)	MRSc	kg Cu eq
Fossil Resource Scarcity (Escassez de Recursos Fósseis)	FRSc	kg oil eq
Water Consumption (Consumo de água)	WC	m^3

4.4. Análise de Inventário

Relativamente à origem dos dados, o inventário foi construído utilizando dados primários calculados e aferidos na empresa, e os dados secundários foram estimados com base em modelos existentes ou retirados da base de dados *Ecoinvent*. Foi selecionada a base de dados *Ecoinvent* por ser uma fonte de dados compatível para estudos e avaliações com base nas normas ISO 14040 e ISO 14044, que é amplamente reconhecida como a maior e mais consistente base de dados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) no mercado [38].

Os dados de primeiro plano relativos à produção do fio de acrílico foram obtidos extrapolando dados de uma ACV previamente realizada [20], uma vez que não foi obtida nenhuma resposta, em tempo útil, por parte dos fornecedores, no que respeita aos seus consumos. Relativamente ao acrílico reciclado, os parceiros de tratamento de resíduos e fiação, disponibilizaram dados dos seus processos e dos respetivos consumos de energia.

Os dados do fabrico do gorro foram recolhidos através da observação dos processos na própria fábrica e de entrevistas com os responsáveis de cada departamento da confeção. Foi, ainda, efetuado um questionário que, em conjunto com artigos e estudos publicados, forneceu dados relativos ao uso e fim de vida dos produtos.

No Anexo C encontram-se todos os dados do *Ecoivent* utilizados para modelar as fases do ciclo de vida apresentado.

4.4.1. Inventário da Produção da Fibra de Acrílico

Os dados de inventário relativos à produção de acrílico virgem, não são do fornecedor real utilizado na produção do lote destes gorros, uma vez que não se obteve resposta de nenhum dos fornecedores de fio de acrílico 100% virgem da empresa. Assim, foi necessário recorrer à literatura e a estudos disponíveis sobre este tipo de fio.

Foram utilizados os dados incluídos no estudo *"Cradle to gate environmental impact assessment of acrylic fiber manufacturing"* (Avaliação do impacto ambiental do fabrico de fibra acrílica do

berço à porta) [20], relativos às entradas e saídas do inventário do ciclo de vida de uma fibra acrílica produzida numa indústria no Egipto. Estes dados foram utilizados como base, mas foram adaptados para a zona de proveniência do fio utilizado, a Turquia. Assim, no programa SimaPro, foram utilizadas as bases de dados associadas à localização real, como por exemplo, o *mix* energético adotado na Turquia.

As Tabelas 5 e 6, resumem, respetivamente, o inventário das entradas e saídas do ciclo de vida na fase de produção do fio de acrílico virgem na Turquia.

Tabela 5- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção da fio de acrílico virgem (para um lote de 50 gorros).

Entradas	Quantidade	Unidades
Acetato de vinil	0,911	kg
Acrilonitrilo	9,209	kg
Clorato de sódio	0,061	kg
Persulfato de sódio	0,182	kg
Hidróxido de sódio (50%)	0,192	kg
Ácido sulfúrico	0,003	kg
Hidróxido de titânio	0,0425	kg
Sulfato de sódio	0,0708	kg
Ácido nítrico	0,0243	kg
Água desmineralizada	1457	kg
Eletricidade	13,36	kWh
Vapor	99,18	kg

Tabela 6- Inventário das saídas do ciclo de vida na fase de produção da fio de acrílico virgem (para um lote de 50 gorros).

Saídas	Quantidade	Unidades
Efluentes residuais	0,698	m^3
Lamas químicas e resíduos perigosos	0,0222	kg
Reutilização de recipientes de plásticos mistos	0,0101	kg
Têxteis reciclados	0,0405	kg

Para a produção do fio de acrílico reciclado, por outro lado, já foi possível a obtenção de informação por parte dos parceiros de tratamento de resíduos. Para a produção do fio de acrílico reciclado é necessário a junção de outros materiais, como referido previamente, cuja composição se encontra no Anexo A. No entanto, esses materiais assim como o acrílico, são provenientes de resíduos recolhidos da produção da empresa e, por esse motivo, não foram introduzidos no SimaPro como entrada. O processo de tratamento dos resíduos e a respetiva potência gasta nesse processo encontram-se no Anexo D.

Relativamente ao processo de fiação, só foi facultado o tipo de processo utilizado (fiação por rotor) e a energia gasta considerada, teve como base o artigo "Uma investigação sobre o consumo de energia em Produção de Fios com Referência Especial para a fiação de anéis" (*An Investigation on Energy Consumption in Yarn Production with Special Reference to Ring Spinning*) [39]. Adotaram-se os dados de consumo energético provenientes de Itália (2,57 kWh/kg), por ser o único valor europeu. No Anexo E, encontram-se os dados retirados deste artigo.

Na Tabela 7, encontra-se o inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção do fio acrílico reciclado.

Tabela 7- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção da fio de acrílico reciclado (para um lote de 50 gorros).

Entradas	Quantidade	Unidades
Tratamento de Resíduos:		
Eletricidade de média voltagem	27,7	kWh
Algodão	0,789	kg
Poliéster	0,405	kg
Viscose	0,0304	kg
Fiação:		
Eletricidade de média voltagem	26	kWh

4.4.2. Inventário associado ao transporte da matéria-prima

Conforme a matéria-prima utilizada, fio de acrílico virgem ou fio de acrílico reciclado, os meios de transporte utilizados e as distâncias percorridas são diferentes. Os modos de transporte utilizados variam entre o marítimo (navio de contentores entre Turquia e Portugal para o fio de acrílico virgem) e o rodoviário (veículo pesado de mercadorias, para os dois tipos de fio). As distâncias foram estimadas com base em ferramentas disponíveis online, como o *Google Earth* e o *Google Maps* [40, 41].

Todos os veículos registados a partir de 2009 têm de cumprir a atual norma Euro 5 que estabelece os limites máximos de NO_x e CO_2 permitidos [42]. Optou-se então, por admitir que

os transportes rodoviários se inserem na categoria Euro 5, uma vez que, segundo a Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis (ACEA), o tempo médio de vida de um veículo comercial médio/ pesado na Europa é de 11,7 anos. Assim sendo, o veículo de transporte teria de ser adquirido após 2009 [43].

A Tabela 8 apresenta os modos de transporte utilizados e as distâncias percorridas para as duas matérias-primas (fio). Apresenta também os dados escolhidos do *Ecoinvent* e as distâncias convertidas para tonelada quilómetro (tkm).

Tabela 8- Inventário dos transportes da matéria-prima (para um lote de 50 gorros).

Entradas	Acrílico Virgem	Acrílico Reciclado
Marítimo:		
Navio de contentores	5000 km 50,6 tkm	-----
Rodoviário:		
Camião	60 km 0,6072 tkm	60 km 0,6072 tkm

4.4.3. Inventário do Processo de Produção dos Gorros

A produção do lote de gorros foi acompanhada desde o início, pelo que as medições do tempo gasto em cada etapa do processo foram feitas diretamente na empresa. Com os tempos e as potências das máquinas foi possível calcular o gasto de energia associado a cada etapa. No Anexo F encontram-se as marcas, números de série e potências de cada máquina utilizada na produção dos gorros.

Foi escolhida a potência máxima da máquina do corte de serra, para avaliar o impacto máximo. A etapa dos acabamentos finais tem um pequeno consumo de água associado. No entanto, por ser tão insignificante e apresentar alguma dificuldade de medição, não foi considerado como entrada no sistema. O processo de embalagem realiza-se manualmente pelo que as únicas entradas são os materiais utilizados.

Na Tabela 9, encontra-se o inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção dos gorros, por etapa.

Tabela 9- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase de produção dos gorros (com fio de acrílico virgem e com fio de acrílico reciclado para um lote de 50 gorros).

Entradas	Quantidade	Unidades
Tricotagem:		
Eletricidade de média voltagem	16	kWh
Corte Serra:		
Eletricidade de média voltagem	0,066	kWh
Acabamentos Finais:		
Eletricidade de média voltagem	2,643	kWh
Poliéster	0,09	kg
Costura:		
Eletricidade de média voltagem	0,527	kWh
Embalagem:		
Polietileno de baixa densidade	0,07	kg
Caixas de Cartão	0,85	kg

4.4.4. Inventário do transporte do produto final

A Tabela 10 apresenta o modo de transporte utilizado (carrinha) e a distância percorrida (3 500 km), até ao cliente final, para as duas matérias-primas e a distância convertida para tonelada quilómetro (tkm). O lote de gorros escolhidos para analisar, tem como destino final a Suécia e a distância foi estimada com o apoio de ferramentas online, como o *Google Earth* e o *Google Maps* [40, 41].

Tabela 10- Inventário do transporte do produto final até ao consumidor (para um lote de 50 gorros).

Entradas	Acrílico Virgem	Acrílico Reciclado
Rodoviário:		
Carrinha	3500 km 28,21 tkm	3500 km 28,21 tkm

4.4.5. Inventário da Fase do Uso

No âmbito da elaboração desta dissertação e do estudo encomendado ao CITEVE para apoio à transição para a neutralidade carbónica, foi pedida colaboração na recolha de informação sobre diferentes cenários da utilização dos produtos, incluindo o número de lavagens por ano e o período de uso até ao descarte do gorro, para análise caso a caso.

Assim, tanto para uso do CITEVE no cálculo da pegada de carbono, como para o estudo de ACV nesta dissertação, foi realizado um questionário à comunidade académica, com o intuito de entender melhor os hábitos dos consumidores relativos ao número de lavagens e ao tempo médio de vida dos produtos. Este estudo será abordado mais especificamente no Capítulo 5. No entanto, é necessário mencionar neste ponto o resultado desse inquérito, uma vez que serviu de base para a contabilização do número de lavagens dos gorros, durante a fase do uso, na avaliação de ciclo de vida.

De acordo com *Presutto et al.* [44], gasta-se em média 41,1 g de detergente por ciclo de lavagem e por kg de roupa. Associando esses valores aos resultados do inquérito sobre o número médio de lavagens anuais, foi possível obter a quantidade de detergente gasta no tempo de vida útil dos gorros. Constatando-se a partir do inquérito efetuado que, em média, um gorro tem 6 anos de tempo de vida útil e é lavado cerca de 2 vezes por ano, foram considerados 12 ciclos de lavagem por cada um dos 50 gorros fabricados, obtendo-se um gasto de detergente por gorro de 3,52 kg, que representa um total de 176 kg de detergente para o lote de 50 gorros.

O estudo *"Environmental Improvement Potential of textiles"* (Potencial de melhoria ambiental dos têxteis) [19], realizado pela União Europeia, indica valores típicos da composição de detergente em pó e o inventário do ciclo de vida usado no modelo, assim como as emissões para a água provenientes de 100 kg de detergente e a quantidade típica de eletricidade e água gastas por ciclo. Estes valores encontram-se no Anexo G.

Considera-se que as emissões resultantes da lavagem são diretamente libertadas para a água, ou seja, não sofrem nenhum tratamento, uma vez que na Europa a percentagem de casas ligadas a sistemas de tratamento de água residual é variada. Deste modo, avalia-se o pior cenário possível uma vez que, em Portugal, quase a totalidade das habitações está ligada a sistemas de recolha e tratamento de águas residuais.

A Tabela 11, apresenta os valores do inventário das entradas do ciclo de vida na fase do uso, adaptando os valores do detergente para a quantidade utilizada para o lote de gorros produzido e, a Tabela 12, as emissões para a água associadas aos ciclos de lavagem.

Tabela 11- Inventário das entradas do ciclo de vida na fase do uso (para um lote de 50 gorros).

Entradas	Quantidade	Unidades
Eletricidade de média voltagem	432	kWh
Água da torneira	27,78	m^3
Álcool etoxilado com onze unidades de poliéter (AE11-PO)	0,074	kg
Álcool etoxilado com sete unidades de poliéter (AE7- pc)	0,151	kg
Sulfonato de alquilbenzeno	0,292	kg
Ácido acético	0,194	kg
Silicato de sódio	0,113	kg
Pó de zeólito	0,757	kg
Perborato de sódio monoidratado	0,327	kg
Perborato de sódio tetrahidratado	0,430	kg
Sulfato de sódio	0,014	kg
Água	0,532	kg
Percarbonato de sódio	0,637	kg

Tabela 12- Inventário das emissões para a água na fase do uso (para um lote de 50 gorros).

Saídas (Emissões para a água)	Quantidade	Unidades
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)	7,195	kg
Carência Química de Oxigénio (CQO)	17,358	kg
Fósforo total	0,00005	kg
Azoto total	0,0001	kg
Detergente	0,0008	kg
Amónia	0,00006	kg
Metais	0,012	kg

4.4.6. Inventário do Fim de Vida

Para a modelação da etapa de fim de vida, procurou-se perceber para que destinos finais são encaminhados os resíduos têxteis e em que quantidade. O estudo "*Pulse of the Fashion Industry*" (Pulso da Indústria da Moda) [45], reportou os valores representados na Figura 11 para o destino final dos resíduos têxteis em 2017.

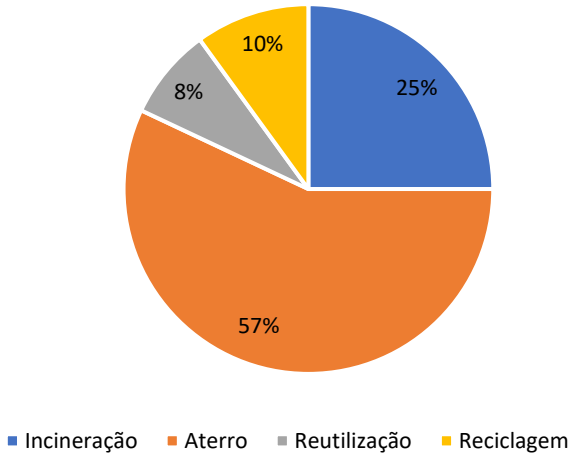


Figura 11- Destinos finais dos resíduos têxteis, no ano de 2017, segundo Pulse of the Fashion Industry [45].

Excluíram-se os resíduos reutilizados por não haver maneira de os contabilizar na ACV e os resíduos reciclados porque são considerados entrada noutro sistema, uma vez que se considerou uma abordagem de alocação de fim de vida a montante [46].

Tendo em consideração estas percentagens e excluindo a percentagem dos têxteis que são reutilizados e reciclados (respetivamente, 8% e 10%), introduziram-se no SimaPro os dados apresentados na Tabela 13, para a etapa do fim de vida, considerando a massa total de 7,14 kg para os 50 gorros.

Tabela 13- Inventário das saídas do ciclo de vida na fase de fim de vida (para um lote de 50 gorros).

Saídas	Quantidade	Unidades
Aterro	4,07	kg
Incineração	1,79	kg

4.5. Avaliação dos Impactes

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados para as diferentes fases do ciclo de vida de cada tipo de fio utilizado, *incluindo* e *excluindo* a fase de utilização. A organização deste ponto salienta as particularidades de cada tipo de fio: no início, são abordados os resultados para a produção de gorros com fio de acrílico virgem e, de seguida, os resultados para o fabrico de gorros com fio de acrílico reciclado.

4.5.1. Fio Acrílico Virgem

A contribuição para o impacto total da produção de 50 gorros com fio de acrílico virgem é apresentada na Tabela 14 e na Figura 12, para cada etapa do ciclo de vida e considerando todas as etapas, i.e., incluindo a de uso. A fim de destacar a representatividade de cada etapa, por categoria de impacto ambiental avaliada, é calculada a sua contribuição relativa percentual, realizada através da divisão da contribuição de cada etapa pelo valor total calculado por categoria de impacto. Este procedimento foi adotado para a produção contabilizando a fase do uso, como se pode observar na Tabela 14.

Na Tabela 15 encontram-se os valores absolutos e percentuais para o impacto total da produção de 50 gorros com fio de acrílico virgem, para cada etapa de ciclo de vida, mas desta vez *sem* considerar a etapa de uso (a contribuição relativa é ilustrada na Figura 13).

Para o ciclo de vida dos 50 gorros de fio de acrílico virgem, considerando a fase de uso dos gorros (Tabela 14 e Figura 12), as etapas que apresentam os maiores impactos são o uso, a produção do fio de acrílico e o transporte do produto final. Cada uma dessas etapas, tem maior impacto para seis das 18 categorias calculadas (valores assinalados a negrito na Tabela 14).

O transporte do produto final apresenta o maior impacto para as categorias de formação de ozono (saúde humana e ecossistemas terrestres), ecotoxicidade terrestre, de água doce e marinha e toxicidade não carcinogénica humana. Devido às emissões do veículo de transporte do produto final, era de esperar que esta etapa fosse mais impactante para estas categorias. No entanto, é de notar que a segunda etapa que mais contribui para a formação de ozono é a produção do fio de acrílico, e para as categorias de ecotoxicidade é a etapa do uso.

As categorias da depleção de ozono estratosférico, radiação ionizante, toxicidade carcinogénica humana, uso do solo, escassez de recursos minerais e consumo de água, têm uma maior representatividade de impacto na etapa de uso. Apesar da produção do fio de acrílico necessitar de água, a fase de uso representa mais de 90% do consumo de água devido às lavagens dos gorros ao longo do seu ciclo de vida.

A etapa da produção do fio de acrílico apresenta maior impacto para as restantes categorias, sendo elas o aquecimento global, a formação de matéria fina particulada, a acidificação terrestre, a eutrofização de água doce e marinha e a escassez de recursos fósseis. Na categoria do aquecimento global verifica-se que as 3 etapas mencionadas (produção do fio de acrílico, uso, transporte do produto final) têm uma representatividade percentual elevada, no entanto a produção do fio destaca-se devido ao enorme gasto de energia utilizada nesse processo.

Quando não se considera a etapa do uso dos gorros (Tabela 15 e Figura 13), verifica-se que a produção do fio de acrílico se mantém como a etapa com mais representatividade nas mesmas categorias e acrescenta-se como a mais representativa (cerca de 90%) na categoria do consumo de água. O transporte do produto final, passa a ser a etapa com maior impacto, sendo que tem maior representatividade em 11 das categorias analisadas (valores a negrito na Tabela 15).

Tabela 14- Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de acrílico virgem considerando a etapa de uso.

		Produção da Fio de Acrílico Virgem		Transporte Matéria-Prima		Produção dos Gorros		Transporte Produto Final		Uso		Fim de Vida		Total	
Categoria de Impacto	**Unidades**	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%
GW	(kg CO^2eq)	74,6	**44,1**	0,55	0,3	11	6,5	51,5	30,5	30,4	18	0,97	0,6	169	100
SozD	(kg CFC11 eq)	$1{,}54x10^{-05}$	16,5	$3{,}88x10^{-07}$	0,4	$6{,}09x10^{-06}$	6,5	$3{,}08x10^{-05}$	32,9	$3{,}99x10^{-05}$	**42,7**	$9{,}85x10^{-07}$	1,1	$9{,}35x10^{-05}$	100
Irad	(kBq Co-60 eq)	1,47	1,2	$6{,}87x10^{-03}$	0,006	0,593	0,5	2,33	1,9	116	**95,9**	$2{,}89x10^{-03}$	0,002	121	100
OzFHH	(kg NOx eq)	0,112	24,3	0,01	2,2	0,029	6,20	0,24	**51**	0,074	16,0	$8{,}96x10^{-04}$	0,2	0,46	100
FPMF	(kg $PM_{2.5}$ eq)	0,13	**47,9**	$3{,}23x10^{-03}$	1,2	0,018	6,8	0,073	28,1	0,042	16,1	$2{,}09x10^{-04}$	0,1	0,26	100
OzFTE	(kg NOx eq)	0,12	24,4	0,01	2,2	0,029	6,1	0,24	**51,2**	0,076	15,9	$9{,}06x10^{-04}$	0,1	0,48	100
Tac	(kg SO_2 eq)	0,25	**44,0**	$9{,}80x10^{-03}$	1,7	0,053	9,4	0,16	28,1	0,095	16,7	$5{,}05x10^{-04}$	0,1	0,57	100
Feu	(kg P eq)	0,017	**39,1**	$2{,}06x10^{-05}$	0,05	$3{,}89x10^{-03}$	9,0	$7{,}99x10^{-03}$	18,5	0,014	32,9	$8{,}11x10^{-05}$	0,2	0,043	100
Meu	(kg N eq)	0,030	**86,4**	$2{,}44x10^{-06}$	0,007	$6{,}41x10^{-04}$	1,9	$5{,}96x10^{-04}$	1,7	$3{,}49x10^{-03}$	10,1	$2{,}06x10^{-05}$	0,1	0,035	100
TEx	(kg 1,4-DCB)	75,2	19,4	2,67	0,7	9,63	2,5	201	**51,9**	97,30	25,1	0,53	0,1	387	100
Fex	(kg 1,4-DCB)	1,37	14,1	0,006	0,06	0,29	3	4,06	**41,7**	3,45	35,5	0,56	5,7	9,73	100
Mex	(kg 1,4-DCB)	1,85	14,5	$8{,}80x10^{-03}$	0,07	0,38	3	5,43	**42,4**	4,38	34,2	0,73	5,7	12,80	100
HCTx	(kg 1,4-DCB)	2,53	11,9	0,040	0,2	0,53	2,5	6,89	32,4	11,2	**52,6**	0,076	0,4	21,30	100
HnCTx	(kg 1,4-DCB)	33,40	17,1	0,12	0,06	7,46	3,8	90,30	**46,3**	51,9	26,6	12,1	6,2	195	100
LU	(m^2a crop eq)	0,68	8,5	$6{,}12x10^{-03}$	0,08	0,53	6,6	1,48	18,6	5,27	**66,1**	0,014	0,2	7,97	100
MRSc	(kg Cu eq)	0,11	16,9	$9{,}12x10^{-04}$	0,1	$9{,}60x10^{-03}$	1,4	0,18	27,2	0,37	**54,2**	$4{,}55x10^{-04}$	0,1	0,68	100
FRSc	(kg oil eq)	29,80	**52,2**	0,17	0,3	3,20	5,6	17,10	29,9	6,80	11,9	0,036	0,1	57,10	100
WC	(m^3)	2,14	7,2	$4{,}79x10^{-04}$	0,002	0,065	0,2	0,14	0,5	27,40	91,9	$3{,}14x10^{-03}$	0,01	29,80	100

Tabela 15 - Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de acrílico virgem sem considerar a etapa de uso.

		Produção da Fio de Acrílico Virgem		Transporte Matéria-Prima		Produção dos Gorros		Transporte Produto Final		Fim de Vida		Total	
Categoria de Impacto	**Unidades**	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%
GW	(kg CO^2eq)	74,6	**53,8**	0,55	0,4	11	7,9	51,5	37,2	0,97	0,7	138,6	100
SozD	(kg CFC11 eq)	$1{,}54x10^{-05}$	28,7	$3{,}88x10^{-07}$	0,7	$6{,}09x10^{-06}$	11,4	$3{,}08x10^{-05}$	**57,5**	$9{,}85x10^{-07}$	1,8	$5{,}36x10^{-05}$	100
Irad	(kBq Co-60 eq)	1,47	33,3	$6{,}87x10^{-03}$	0,2	0,593	13,4	2,33	**52,8**	$2{,}89x10^{-03}$	0,1	4,41	100
OzFHH	(kg NOx eq)	0,112	28,9	0,01	2,6	0,029	7,4	0,24	**60,7**	$8{,}96x10^{-04}$	0,2	0,39	100
FPMF	(kg $PM_{2.5}$ eq)	0,13	**57,1**	$3{,}23x10^{-03}$	1,5	0,018	8,1	0,073	33,4	$2{,}09x10^{-04}$	0,1	0,22	100
OzFTE	(kg NOx eq)	0,12	29,0	0,01	2,6	0,029	7,2	0,24	**60,8**	$9{,}06x10^{-04}$	0,2	0,40	100
Tac	(kg SO_2 eq)	0,25	**52,9**	$9{,}80x10^{-03}$	2,1	0,053	11,2	0,16	33,7	$5{,}05x10^{-04}$	0,1	0,47	100
Feu	(kg P eq)	0,017	**58,3**	$2{,}06x10^{-05}$	0,1	$3{,}89x10^{-03}$	13,4	$7{,}99x10^{-03}$	27,6	$8{,}11x10^{-05}$	0,3	0,029	100
Meu	(kg N eq)	0,030	**96,1**	$2{,}44x10^{-06}$	0,008	$6{,}41x10^{-04}$	2,1	$5{,}96x10^{-04}$	1,9	$2{,}06x10^{-05}$	0,1	0,031	100
TEx	(kg 1,4-DCB)	75,2	25,9	2,67	0,9	9,63	3,3	201	**69,4**	0,53	0,2	289,7	100
Fex	(kg 1,4-DCB)	1,37	21,8	0,006	0,1	0,29	4,6	4,06	**64,7**	0,56	8,9	6,28	100
Mex	(kg 1,4-DCB)	1,85	22,0	$8{,}80x10^{-03}$	0,1	0,38	4,5	5,43	**64,5**	0,73	8,7	8,42	100
HCTx	(kg 1,4-DCB)	2,53	25,1	0,040	0,4	0,53	5,3	6,89	**68,2**	0,076	0,8	10,1	100
HnCTx	(kg 1,4-DCB)	33,40	23,3	0,12	0,1	7,46	5,2	90,30	**63,1**	12,1	8,5	143,1	100
LU	(m^2a crop eq)	0,68	25,2	$6{,}12x10^{-03}$	0,2	0,53	19,5	1,48	**54,8**	0,014	0,5	2,7	100
MRSc	(kg Cu eq)	0,11	36,8	$9{,}12x10^{-04}$	0,3	$9{,}60x10^{-03}$	3,1	0,18	**59,4**	$4{,}55x10^{-04}$	0,1	0,31	100
FRSc	(kg oil eq)	29,80	**59,2**	0,17	0,3	3,20	6,4	17,10	34,0	0,036	0,1	50,31	100
WC	(m^3)	2,14	**89,2**	$4{,}79x10^{-04}$	0,02	0,065	2,7	0,14	5,95	$3{,}14x10^{-03}$	0,1	2,35	100

Verifica-se ainda que, quando não se considera a etapa de uso existe uma alteração do peso da etapa da produção do fio de acrílico virgem de 7,2% (Tabela 14 e Figura 12) para 89,2% (Tabela 15 e Figura 13) da categoria de consumo de água do impacto potencial do ciclo de vida dos gorros de acrílico virgem.

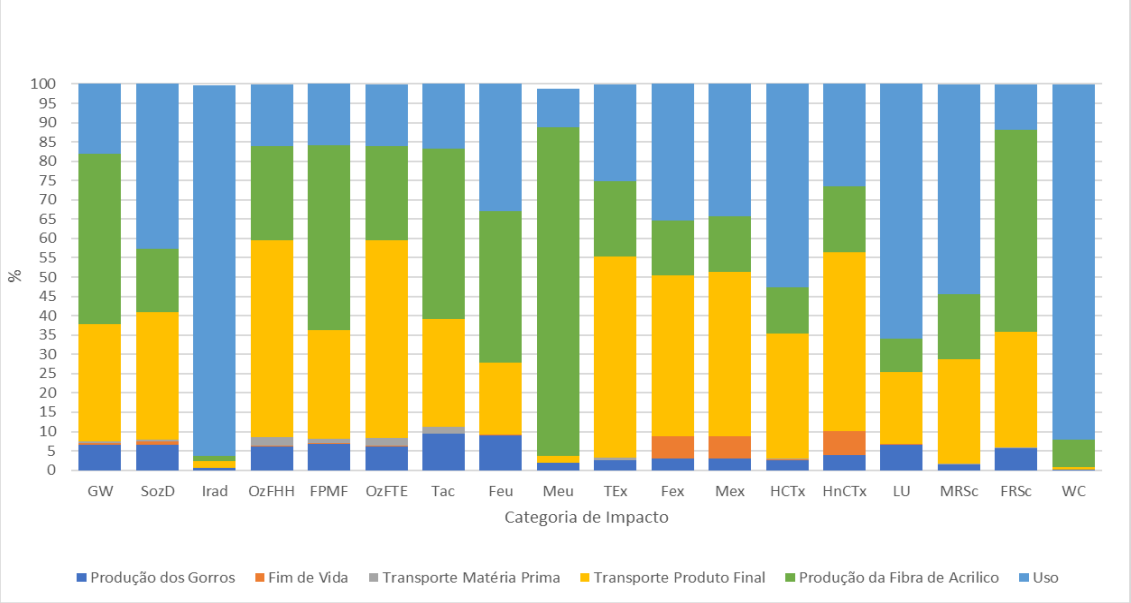


Figura 12- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem, considerando a etapa de uso.

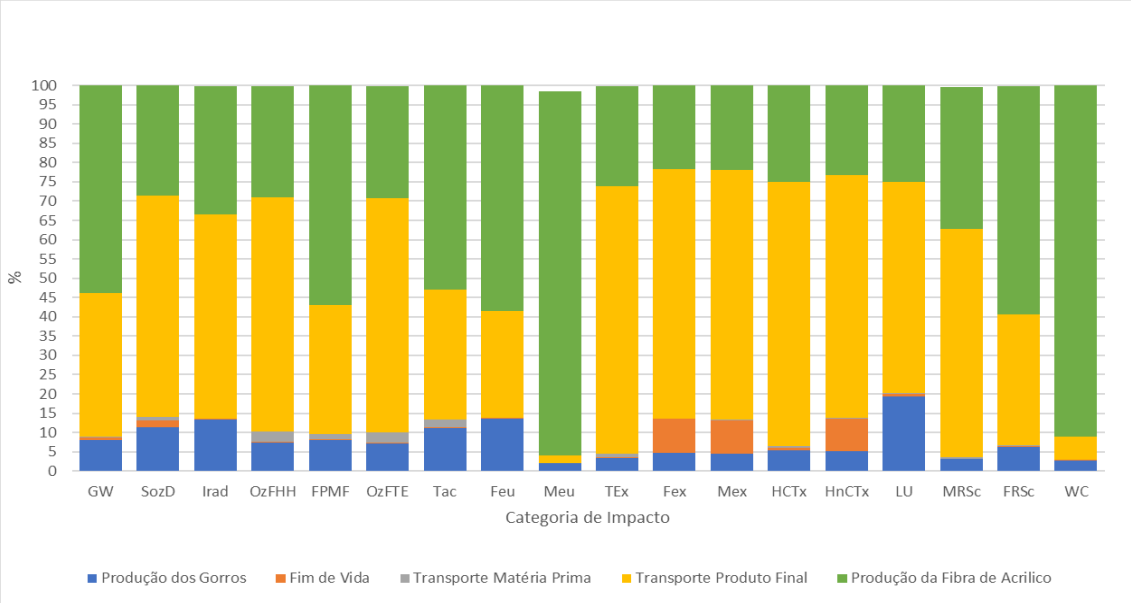


Figura 13- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem, sem considerar a etapa de uso.

Assim, por forma a reduzir os impactos gerados pelo lote de gorros de acrílico virgem, deverá intervir-se nas etapas de produção do fio de acrílico e transporte de produto final, uma vez que é impossível por parte da empresa, reduzir os impactos na etapa da utilização.

4.5.2. Fio de Acrílico Reciclado

A contribuição de cada etapa do ciclo de vida para o impacto total de 50 gorros com fio de acrílico 100% reciclado é apresentada na Tabela 16.

Tal como no ponto anterior relativo ao fio de acrílico virgem, e a fim de destacar a representatividade de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada, foi calculada a sua contribuição relativa, que também se apresenta na Tabela 16.

Por sua vez, na Tabela 17 encontram-se os valores absolutos e percentuais para o impacto total da produção de 50 gorros com fio de acrílico reciclado, para cada etapa de ciclo de vida, mas *sem* considerar a etapa de utilização.

Para o ciclo de vida dos 50 gorros de fio de acrílico reciclado, considerando a fase de uso, as etapas que apresentam os maiores impactos são o uso e o transporte do produto final. Contrariamente aos resultados previamente analisados do fio de acrílico virgem, a etapa de produção desta matéria-prima (fio de acrílico reciclado) não é a etapa mais impactante em nenhuma das categorias analisadas.

O transporte do produto final, como observado na Tabela 17, apresenta o maior impacto para 10 das categorias de impacto analisadas (valores assinalados a negrito na tabela), sendo elas a formação de ozono (saúde humana e ecossistemas terrestres), a ecotoxicidade terrestre, de água doce e marinha, a toxicidade não carcinogénica humana, o aquecimento global, a formação de matéria fina particulada, a acidificação terrestre e a escassez de recursos fósseis. Devido às emissões de partículas por parte do veículo de transporte do produto final e da utilização de combustível neste, era de esperar que esta etapa fosse das mais impactantes, tal como previamente mencionado. É de salientar que para a categoria de aquecimento global, tanto a etapa de uso como a de produção de fio de acrílico reciclado, apresentam elevadas percentagens de representatividade, no entanto é de notar que a simples troca de matéria-prima, tornou a etapa de produção menos impactante em termos relativos para esta categoria.

A etapa correspondente à utilização do produto, revela ser a mais impactante para as categorias da depleção de ozono estratosférico, da radiação ionizante, da toxicidade carcinogénica humana, do uso do solo, da escassez de recursos minerais, do consumo de água e da eutrofização marinha e de água doce (7 de 18 categorias). Para a categoria do consumo de água, esta etapa representa mais de 98%, sendo este consumo, quase na sua totalidade, responsabilidade das lavagens dos gorros. Tendo em consideração que a produção da matéria-prima não necessita da utilização de produtos químicos, a grande representatividade da etapa do uso em categorias como a eutrofização pode ser relacionada com o uso de detergentes nas lavagens dos gorros.

Quando não se considera a etapa do uso, verifica-se que a produção do fio de acrílico reciclado, passa a ser a etapa com mais representatividade na categoria de eutrofização de água doce e que a etapa da produção dos gorros é que apresenta maior representatividade percentual para a categoria de eutrofização marinha. Nesta última categoria mencionada, é de notar que a percentagem das etapas produção, transporte do produto final e produção do fio de acrílico reciclado, são bastante próximas.

O transporte do produto final, continua a ser a etapa com maior impacto, sendo que tem maior representatividade em 16 das categorias analisadas (assinaladas a negrito na Tabela 17).

Tabela 16- Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de fio de acrílico reciclado considerando a etapa de uso.

		Produção do Acrílico Reciclado		**Transporte Acrílico Reciclado**		**Produção dos Gorros**		**Transporte Produto Final**		**Uso**		**Fim de Vida**		**Total**	
Categoria de Impacto	**Unidades**	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%
GW	(kg CO^2eq)	25,73	21,3	1,11	0,9	11	9,1	51,5	**42,7**	30,4	25,2	0,97	0,8	120,73	100
SozD	(kg CFC11 eq)	$9{,}24x10^{-06}$	10,5	$6{,}62x10^{-07}$	0,8	$6{,}09x10^{-06}$	6,9	$3{,}08x10^{-05}$	35,1	$3{,}99x10^{-05}$	**45,5**	$9{,}85x10^{-07}$	1,1	$8{,}77x10^{-05}$	100
Irad	(kBq Co-60 eq)	1,32	1,1	0,050	0,04	0,59	0,5	2,33	1,9	116	**96,4**	$2{,}89x10^{-03}$	0,002	120,712	100
OzFHH	(kg NOx eq)	0,07	16,3	$5{,}07x10^{-03}$	1,2	0,03	7,0	0,24	**57,3**	0,074	18,0	$8{,}96x10^{-04}$	0,2	0,411	100
FPMF	(kg $PM_{2.5}$ eq)	0,04	24,3	$1{,}58x10^{-03}$	0,9	0,02	10,0	0,073	**41,1**	0,042	23,6	$2{,}09x10^{-04}$	0,1	0,178	100
OzFTE	(kg NOx eq)	0,07	16,0	$5{,}23x10^{-03}$	1,2	0,03	6,9	0,24	**57,7**	0,076	18,0	$9{,}06x10^{-04}$	0,2	0,421	100
Tac	(kg SO_2 eq)	0,13	29,7	$3{,}45x10^{-03}$	0,8	0,053	12,0	0,16	**36,0**	0,095	21,4	$5{,}05x10^{-04}$	0,1	0,445	100
Feu	(kg P eq)	$9{,}05x10^{-03}$	25,6	$1{,}72x10^{-04}$	0,5	$3{,}89x10^{-03}$	11,0	$7{,}99x10^{-03}$	22,6	0,014	**40,2**	$8{,}11x10^{-05}$	0,2	0,035	100
Meu	(kg N eq)	$6{,}00x10^{-04}$	11,2	$1{,}28x10^{-05}$	0,2	$6{,}41x10^{-04}$	12,0	$5{,}96x10^{-04}$	11,1	$3{,}49x10^{-03}$	**65,1**	$2{,}06x10^{-05}$	0,3	5,36E-03	100
TEx	(kg 1,4-DCB)	17,31	5,2	4,33	1,3	9,63	2,9	201	**60,9**	97,30	29,4	0,53	0,2	330,333	100
Fex	(kg 1,4-DCB)	0,64	7,1	0,09	1,0	0,29	3,2	4,06	**44,6**	3,45	38,0	0,56	6,1	9,082	100
Mex	(kg 1,4-DCB)	0,85	7,1	0,12	1,0	0,38	3,2	5,43	**45,7**	4,38	36,9	0,73	6,1	11,883	100
HCTx	(kg 1,4-DCB)	1,21	6,0	0,15	0,7	0,53	2,6	6,89	34,4	11,2	**55,8**	0,076	0,4	20,041	100
HnCTx	(kg 1,4-DCB)	17,00	9,4	1,94	1,1	7,46	4,1	90,30	**50,0**	51,9	28,7	12,1	6,7	180,634	100
LU	(m^2a crop eq)	0,49	6,3	0,032	0,4	0,53	6,7	1,48	18,9	5,27	**67,4**	0,014	0,2	7,812	100
MRSc	(kg Cu eq)	0,02	3,0	$3{,}97x10^{-03}$	0,7	$9{,}60x10^{-03}$	1,6	0,18	31,6	0,37	**63,0**	$4{,}55x10^{-04}$	0,1	0,583	100
FRSc	(kg oil eq)	7,19	20,7	0,37	1,1	3,20	9,2	17,10	**49,3**	6,80	19,6	0,036	0,1	34,691	100
WC	(m^3)	0,13	0,5	$3{,}08x10^{-03}$	0,011	0,07	0,2	0,14	0,5	27,40	**98,8**	$3{,}14x10^{-03}$	0,01	27,752	100

Tabela 17- Resultados absolutos e percentuais de cada etapa para cada categoria de impacto ambiental avaliada na produção de 50 gorros de fio de acrílico reciclado sem considerar a etapa de uso.

		Produção do Acrílico Reciclado		**Transporte Acrílico Reciclado**		**Produção dos Gorros**		**Transporte Produto Final**		**Fim de Vida**		**Total**	
Categoria de Impacto	**Unidades**	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%	Valor Absoluto	%
GW	(kg CO^2eq)	25,73	28,5	1,11	1,2	11	12,2	51,5	**57,1**	0,97	1,1	90,35	100
SozD	(kg CFC11 eq)	$9{,}24x10^{-06}$	19,4	$6{,}62x10^{-07}$	1,4	$6{,}09x10^{-06}$	12,8	$3{,}08x10^{-05}$	**64,6**	$9{,}85x10^{-07}$	2,1	$4{,}77x10^{-05}$	100
Irad	(kBq Co-60 eq)	1,32	30,7	0,050	1,2	0,59	13,8	2,33	**54,2**	$2{,}89x10^{-03}$	0,1	4,30	100
OzFHH	(kg NOx eq)	0,07	19,9	$5{,}07x10^{-03}$	1,5	0,03	8,5	0,24	**69,9**	$8{,}96x10^{-04}$	0,3	0,34	100
FPMF	(kg $PM_{2.5}$ eq)	0,04	31,8	$1{,}58x10^{-03}$	1,2	0,02	13,1	0,073	**53,8**	$2{,}09x10^{-04}$	0,2	0,14	100
OzFTE	(kg NOx eq)	0,07	19,5	$5{,}23x10^{-03}$	1,5	0,03	8,4	0,24	**70,3**	$9{,}06x10^{-04}$	0,3	0,35	100
Tac	(kg SO_2 eq)	0,13	37,8	$3{,}45x10^{-03}$	1,0	0,053	15,2	0,16	**45,8**	$5{,}05x10^{-04}$	0,1	0,35	100
Feu	(kg P eq)	$9{,}05x10^{-03}$	**42,7**	$1{,}72x10^{-04}$	0,8	$3{,}89x10^{-03}$	18,4	$7{,}99x10^{-03}$	37,7	$8{,}11x10^{-05}$	0,4	0,02	100
Meu	(kg N eq)	$6{,}00x10^{-04}$	32,1	$1{,}28x10^{-05}$	0,7	$6{,}41x10^{-04}$	**34,3**	$5{,}96x10^{-04}$	31,9	$2{,}06x10^{-05}$	1,1	$1{,}87x10^{-03}$	100
TEx	(kg 1,4-DCB)	17,31	7,4	4,33	1,9	9,63	4,1	201	**86,4**	0,53	0,2	233,08	100
Fex	(kg 1,4-DCB)	0,64	11,4	0,09	1,6	0,29	5,2	4,06	**72,1**	0,56	9,9	5,63	100
Mex	(kg 1,4-DCB)	0,85	11,3	0,12	1,6	0,38	5,1	5,43	**72,3**	0,73	9,7	7,51	100
HCTx	(kg 1,4-DCB)	1,21	13,7	0,15	1,7	0,53	6,0	6,89	**77,8**	0,076	0,9	8,86	100
HnCTx	(kg 1,4-DCB)	17,00	13,2	1,94	1,5	7,46	5,8	90,30	**70,1**	12,1	9,4	128,77	100
LU	(m^2a crop eq)	0,49	19,4	0,032	1,3	0,53	20,7	1,48	**58,1**	0,014	0,5	2,54	100
MRSc	(kg Cu eq)	0,02	8,0	$3{,}97x10^{-03}$	1,8	$9{,}60x10^{-03}$	4,5	0,18	**85,5**	$4{,}55x10^{-04}$	0,2	0,22	100
FRSc	(kg oil eq)	7,19	25,8	0,37	1,3	3,20	11,5	17,10	**61,3**	0,036	0,1	27,90	100
WC	(m^3)	0,13	37,1	$3{,}08x10^{-03}$	0,9	0,07	19,0	0,14	**42,1**	$3{,}14x10^{-03}$	0,9	0,34	100

A contribuição relativa de cada atividade para o impacto total na produção dos 50 gorros de fio de acrílico reciclado está ilustrada na Figura 14 (considerando a etapa do uso) e na Figura 15 (sem considerar a etapa do uso).

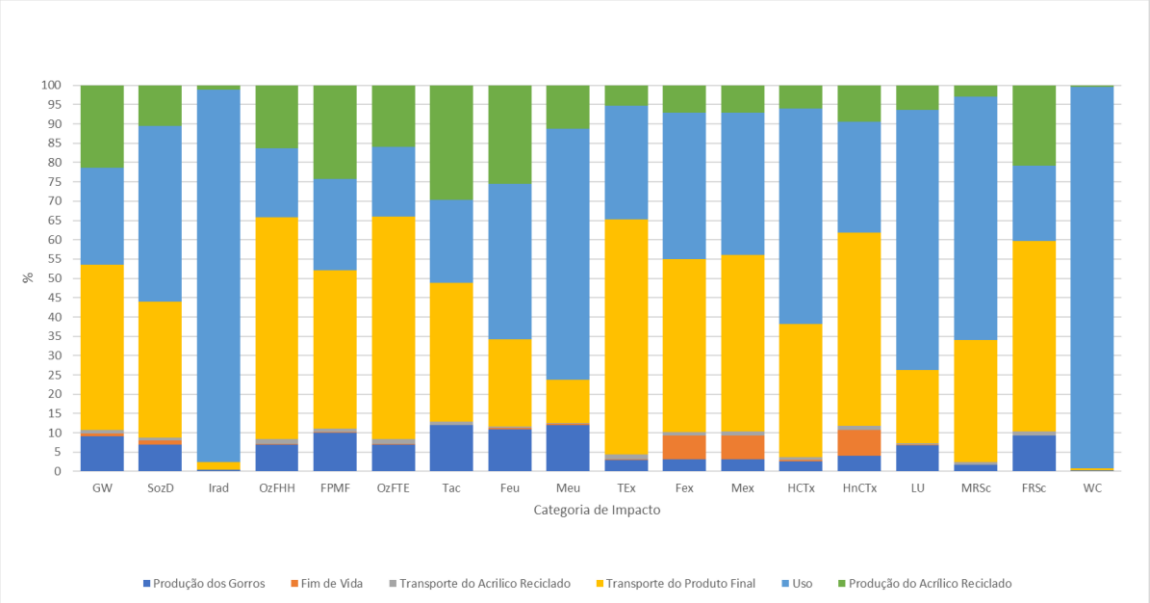


Figura 14- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico 100% reciclado, considerando a etapa de uso.

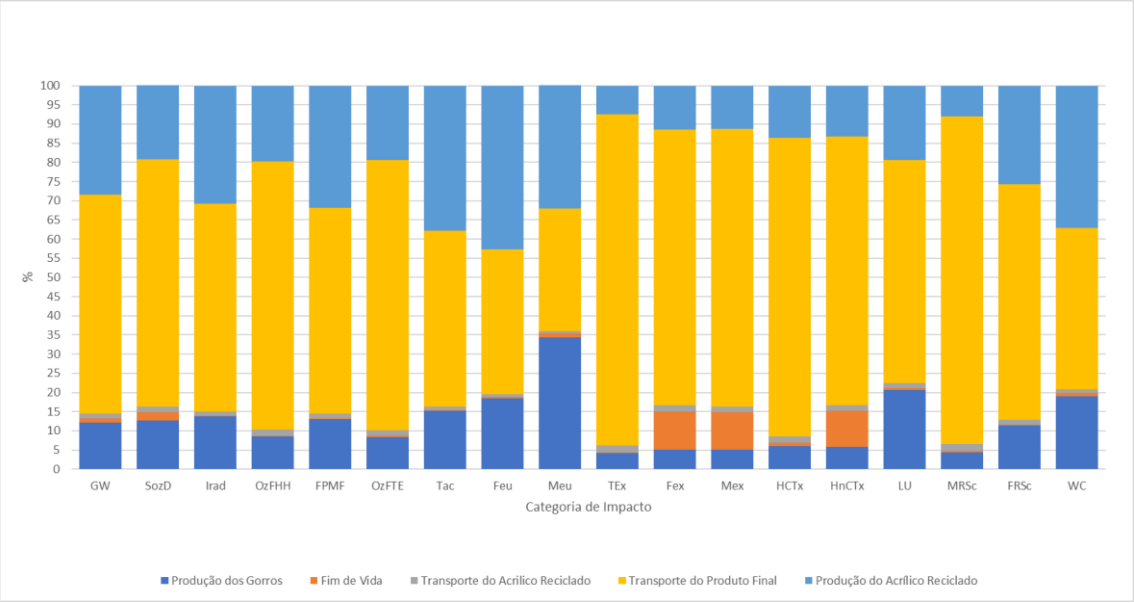


Figura 15- Contribuição relativa de cada etapa do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico 100% reciclado, sem considerar a etapa de uso.

Assim, por forma a reduzir os impactos gerados pelo lote de gorros de acrílico reciclado, deverá intervir-se na etapa do transporte do produto final.

4.6. Avaliação Comparativa

O impacto total de 50 gorros de fio de acrílico virgem e de fio de acrílico reciclado é apresentado em forma de tabela no Anexo I. A fim de destacar a representatividade de cada matéria-prima, por categoria de impacto ambiental avaliada, é calculada a sua contribuição relativa. Este cálculo é efetuado através da divisão do impacto do lote de cada matéria-prima pelo valor máximo calculado para cada categoria de impacto. Na Figura 16 encontra-se a representação gráfica da contribuição relativa, para o valor máximo calculado para cada categoria de 50 gorros de fio de acrílico virgem e de fio de acrílico reciclado, sendo que foi considerada como referência a prática atual de produção dos gorros com fio de acrílico virgem.

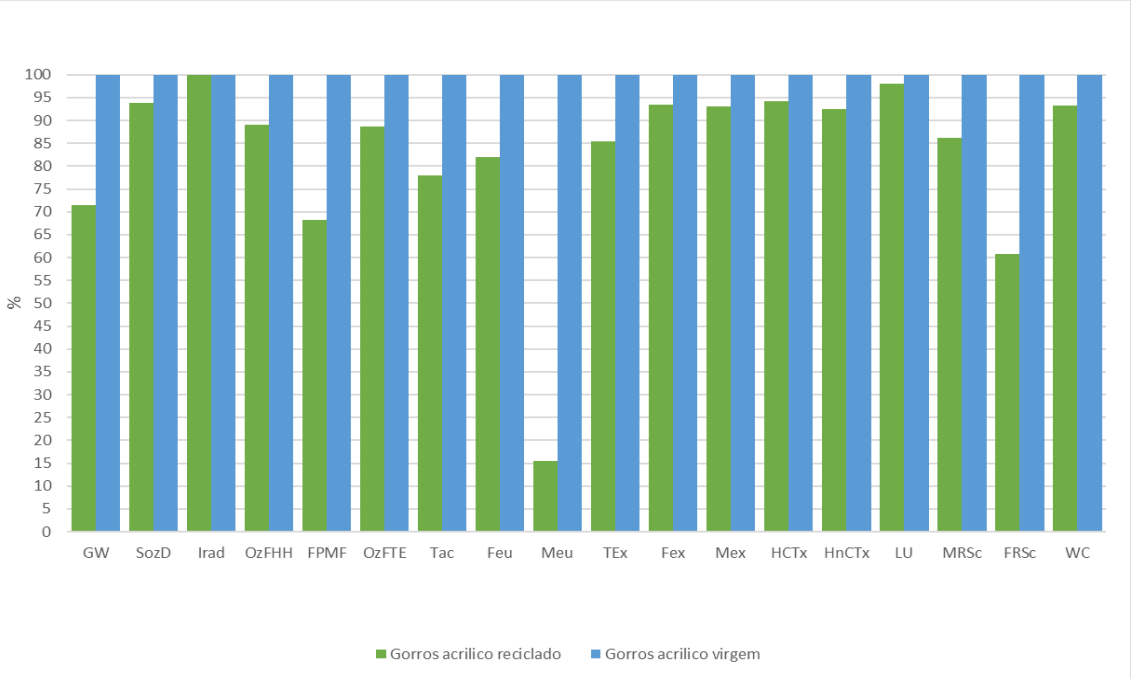


Figura 16- Representação gráfica da contribuição relativa para o valor máximo calculado para cada categoria da produção de 50 gorros de fio de acrílico virgem e de fio de acrílico reciclado.

É notório que, comparando os impactos das duas matérias-primas, o lote de gorros com fio de acrílico virgem, tem um maior impacto em todas as categorias analisadas. No entanto, existem categorias, como a radiação ionizante (Irad), em que a diferença de impacto é quase nula. Esta similaridade de resultados está principalmente associada à etapa do uso que representa cerca de 98,2% dessa categoria.

Tal como se pode analisar na Figura 16, as categorias de impacto em que se sente uma maior diferença derivada da troca de matéria-prima, são a eutrofização marinha (Meu) e a escassez de recursos fósseis (FRSc). A eutrofização marinha resulta maioritariamente da produção de acrilonitrilo (etapa da produção do fio de acrílico virgem), justificando a diferença de impactos, nesta categoria, para os dois ciclos de vida.

Para uma melhor comparação dos processos de produção, realizou-se novamente uma análise excluindo a etapa de uso. Estes resultados encontram-se no Anexo I e representados na Figura 17.

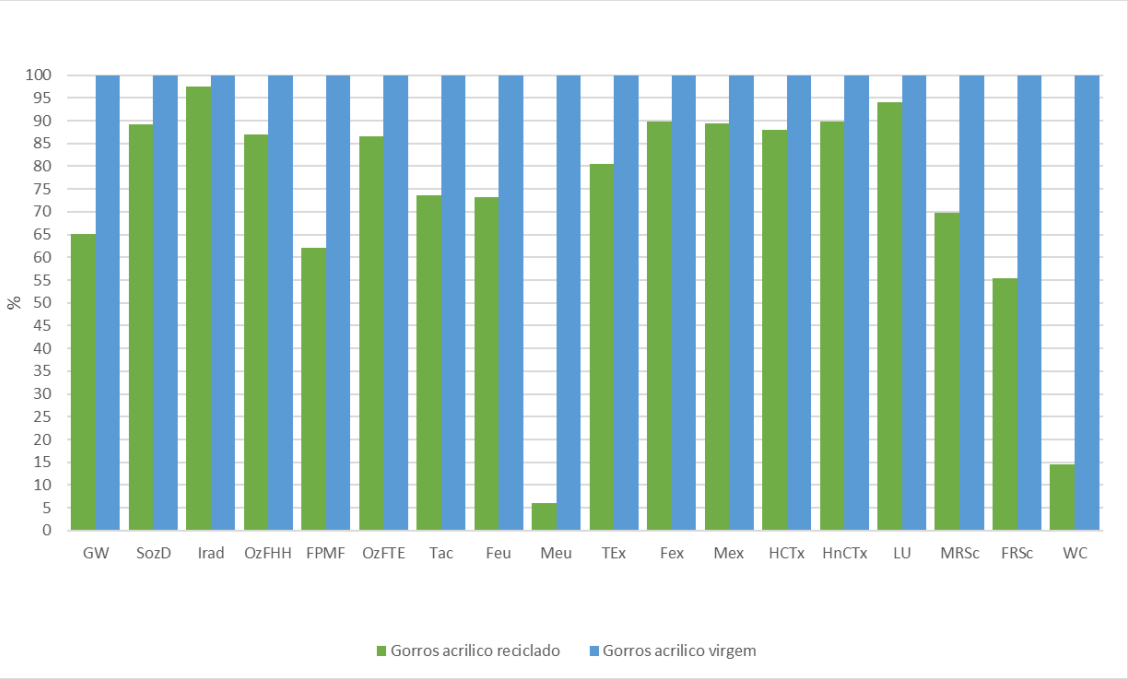


Figura 17- Representação gráfica da contribuição relativa para o valor máximo calculado para cada categoria da produção de 50 gorros de acrílico virgem e reciclado desconsiderando a utilização.

Comparando os resultados para a produção do lote de gorros *com* (Figura 16) e *sem* a fase de uso (Figura 17), é possível constatar que as diferenças de impactos das matérias-primas são mais acentuadas quando esta etapa não é considerada.

Da mesma forma que os resultados apresentados na Figura 16, a Figura 17 revela que a eutrofização marinha (Meu) é a categoria de impacto em que se sente uma maior diferença derivada da troca de matéria-prima.

No entanto, há uma descida abrupta no impacto do consumo de água (WC) de 50 gorros de fio de acrílico reciclado (Figura 17), comparativamente com o fio de acrílico virgem (Figura 16), uma vez que, para a produção do fio de acrílico virgem se utiliza água e para o fio de acrílico reciclado não. Quando não se considera a fase de uso, onde ocorrem as lavagens do produto e, portanto, existe um maior consumo de água associado, era expectável observar uma maior diferença percentual na categoria de impacto de consumo de água (WC).

4.6.1. Normalização

Uma maneira de facilitar a interpretação dos resultados é através da normalização. Como supramencionado, a normalização consiste na divisão dos resultados obtidos por valores de referência. Esta situação de referência pode ser, por exemplo a quota-parte de todas as emissões e a utilização de recursos de um cidadão médio durante um ano.

A normalização converte unidades, que podem ser consideradas complicadas, em frações de uma média das pontuações de um cenário por categoria de impacto, tornando possível visualizar quais impactos causados pelo produto estudado são significativos ou desprezáveis comparados ao impacto da referência. Esta interpretação dos resultados, foi executada com auxílio do programa SimaPro, que após a escolha da metodologia *ReCiPe,* apresenta os resultados sob a forma de representação gráfica, como se pode observar nas Figuras 18 e 19. Esta metodologia oferece vários fatores de normalização, sendo que neste caso foi utilizado o impacto de um cidadão médio do mundo no ano de 2010 (World 2010 H) [47].

Assim, nas Figuras 18 e 19 encontram-se os gráficos com os valores da normalização para o ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem e de fio de acrílico reciclado, respetivamente. Nas duas figuras é possível observar que a categoria toxicidade carcinogénica humana (HCTx) se encontra bastante acima da média por pessoa num ano global (cerca de 1,4 vezes). Em ambos os gráficos, destacam-se também às categorias de radiação ionizante (Irad), ecotoxicidade de água doce (Fex) e marinha (Mex), que são visivelmente superiores às restantes categorias. Verifica-se ainda, que a etapa com maior responsabilidade por estes resultados, é a etapa do uso. Assim sendo, os impactos causados por ambos os processos estudados, nestas categorias, são realmente significativos, e as medidas de otimização dos processos devem visá-las com particular atenção, não desprezando, contudo, o efeito sobre as outras categorias.

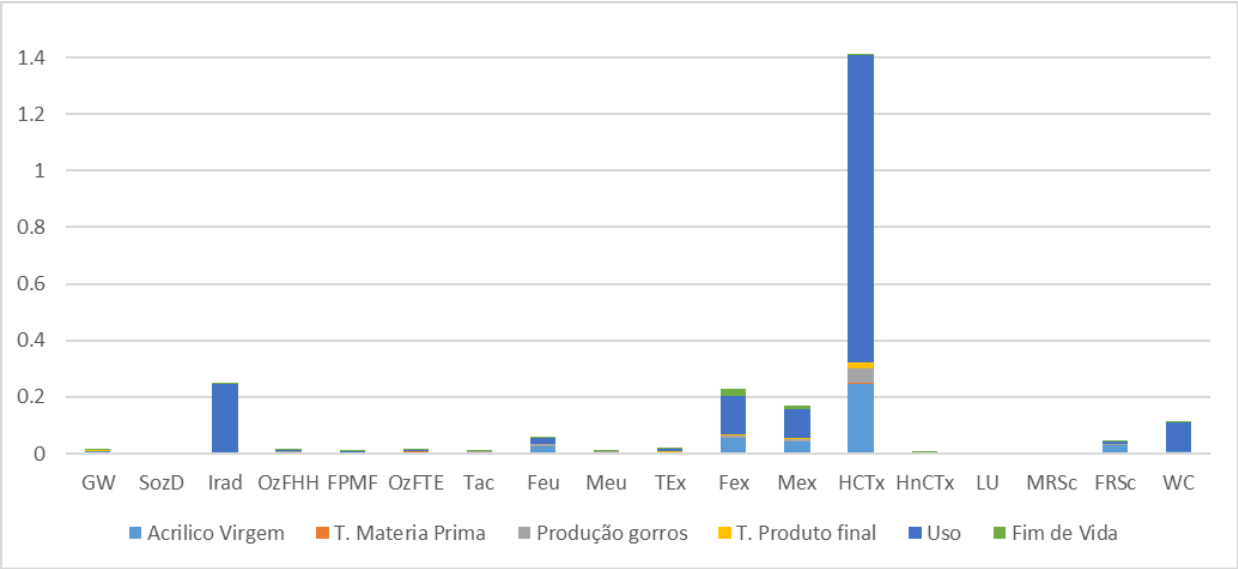


Figura 18- Valores de Normalização para o ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem (adimensional).

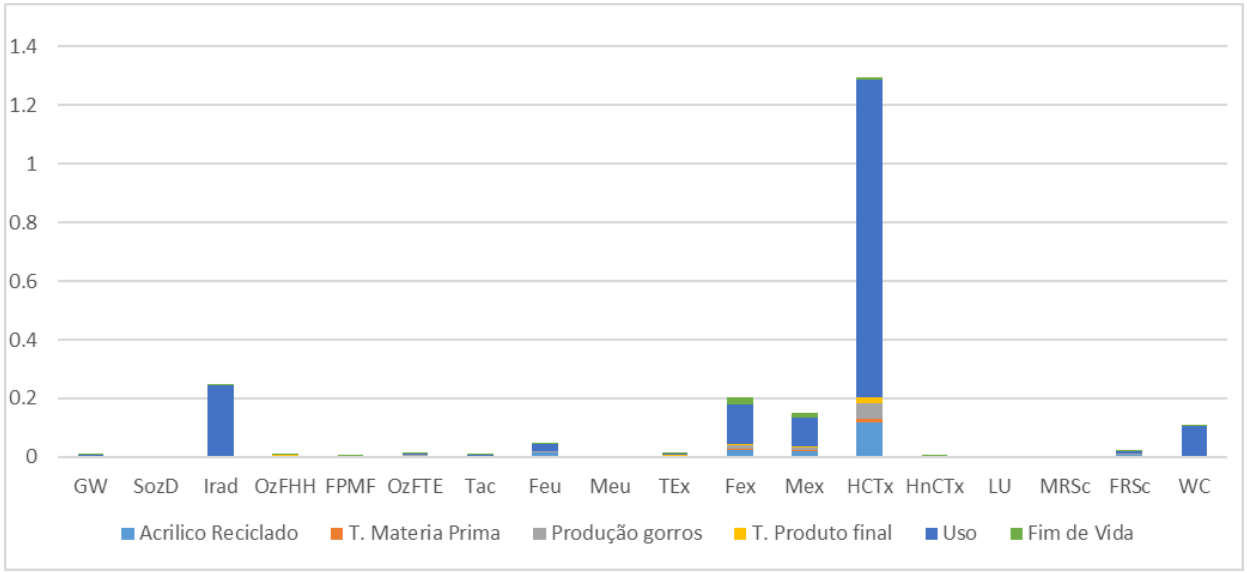


Figura 19- Valores de Normalização para o ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico reciclado (adimensional).

4.6.2. Análise de Monte Carlo

A análise de Monte Carlo (um método de simulação estatística) é uma técnica de cálculo numérico guiada pela teoria estatística da probabilidade. A aplicação deste método na resolução de problemas práticos tem duas componentes principais: a geração de variáveis aleatórias com uma certa distribuição de probabilidade e a estimativa das características numéricas do modelo com métodos estatísticos, de modo a obter uma solução numérica dos problemas reais[48].

É um método com um princípio estatístico simples, no qual um cálculo é repetido muitas vezes (iterações). Cada vez que se escolhe um valor aleatório para cada fluxo, por exemplo, uma emissão ou entrada de matéria-prima, o intervalo resultante de todos os resultados de cálculo forma uma distribuição da qual a informação de incerteza pode ser derivada com métodos estatísticos básicos. Os valores escolhidos na análise de Monte Carlo estão dentro de uma distribuição especificada, sendo que no SimaPro, é possível especificar a incerteza sobre as entradas e saídas de um processo ou etapa de produto, e mesmo sobre os parâmetros se se utilizar modelação parametrizada, utilizando um dos 4 tipos de distribuições: gama, triangular, distribuição normal e distribuição log-normal [49].

A simulação de Monte Carlo produz curvas de distribuição probabilística que agregam as incertezas de cada parâmetro dos materiais/processos críticos, e representam a incerteza de parâmetro total envolvida [50].

Os resultados obtidos na ACV foram analisados através deste método para os dados secundários (com origem na base de dados *Ecoinvent*), uma vez que não se encontravam disponíveis gamas de valores para os dados de primeiro plano. Foram realizadas 1 000 iterações, com intervalo de confiança de 95% para as simulações (valores padrão no software SimaPro).

Os valores apresentados para as diferentes categorias de impacto constituem uma estimativa média de uma variedade de resultados possíveis dentro de uma dada distribuição probabilística, dependente da própria variabilidade do inventário. Quando se calcula uma média, esta

representa o valor médio de uma amostra pertencente a uma população. No caso de se pretender generalizar os resultados obtidos e para a totalidade da população, é necessário ter em consideração que a média variará com a amostra em causa. A variabilidade de uma amostra relativamente à sua média pode ser avaliada através do desvio padrão. Pode determinar-se o quanto a amostra varia do desvio padrão dessa distribuição amostral, através do erro padrão da estimativa da média. Este erro é considerado uma forma de medida da precisão da média da amostra.

O erro padrão da média da amostra depende tanto do desvio padrão como do tamanho da amostra, e diminui à medida que o tamanho da amostra aumenta, conforme a extensão da variação do acaso é reduzida. Pelo contrário, o desvio padrão não tenderá a mudar à medida que se aumenta o tamanho da amostra. Assim, se se pretender indicar a incerteza em torno da estimativa da medição média, utiliza-se o erro padrão da média, visto que este é mais útil como meio de calcular um intervalo de confiança [51]. Na Tabela 18, encontram-se os valores dos erros padrão associados aos impactos totais do ciclo de vida de 50 gorros de acrílico virgem e reciclado.

Tabela 18 – Erro Padrão

Categoria de impacto	Unidade	Acrílico Reciclado	Acrílico Virgem
GW	kg CO_2 eq	$120{,}73 \pm 2{,}80 \times 10^{-1}$	$169{,}04 \pm 2{,}82 \times 10^{-1}$
SozD	kg CFC11 eq	$8{,}77 \times 10^{-5} \pm 4{,}78 \times 10^{-7}$	$9{,}35 \times 10^{-5} \pm 5{,}08 \times 10^{-7}$
Irad	kBq Co-60 eq	$120{,}71 \pm 5{,}15 \times 10^{0}$	$120{,}82 \pm 5{,}61 \times 10^{0}$
OzFHH	kg NOx eq	$0{,}41 \pm 1{,}33 \times 10^{-3}$	$0{,}46 \pm 1{,}24 \times 10^{-3}$
FPMF	kg $PM_{2,5}$ eq	$0{,}18 \pm 5{,}45 \times 10^{-4}$	$0{,}26 \pm 5{,}74 \times 10^{-4}$
OzFTE	kg NOx eq	$0{,}42 \pm 1{,}35 \times 10^{-3}$	$0{,}48 \pm 1{,}25 \times 10^{-3}$
Tac	kg SO_2 eq	$0{,}45 \pm 1{,}12 \times 10^{-3}$	$0{,}57 \pm 1{,}12 \times 10^{-3}$
Feu	kg P eq	$0{,}04 \pm 5{,}50 \times 10^{-4}$	$0{,}04 \pm 6{,}52 \times 10^{-4}$
Meu	kg N eq	$5{,}36 \times 10^{-3} \pm 2{,}33 \times 10^{-5}$	$0{,}04 \pm 7{,}64 \times 10^{-5}$
TEx	kg 1,4-DCB	$330{,}33 \pm 7{,}22 \times 10^{0}$	$386{,}59 \pm 6{,}74 \times 10^{0}$
Fex	kg 1,4-DCB	$9{,}08 \pm 1{,}02 \times 10^{-1}$	$9{,}73 \pm 1{,}07 \times 10^{-1}$
Mex	kg 1,4-DCB	$11{,}88 \pm 1{,}35 \times 10^{-1}$	$12{,}77 \pm 1{,}40 \times 10^{-1}$
HCTx	kg 1,4-DCB	$20{,}04 \pm 1{,}71 \times 10^{-1}$	$21{,}25 \pm 2{,}05 \times 10^{-1}$
HnCTx	kg 1,4-DCB	$180{,}63 \pm 1{,}71 \times 10^{0}$	$195{,}19 \pm 2{,}05 \times 10^{-1}$
LU	m^2a crop eq	$7{,}81 \pm 1{,}05 \times 10^{-1}$	$7{,}98 \pm 1{,}01 \times 10^{-1}$
MRSc	kg Cu eq	$0{,}58 \pm 4{,}40 \times 10^{-3}$	$0{,}68 \pm 4{,}08 \times 10^{-3}$
FRSc	kg oil eq	$34{,}69 \pm 9{,}82 \times 10^{-2}$	$57{,}15 \pm 8{,}92 \times 10^{-2}$
WC	m^3	$27{,}75 \pm 3{,}50 \times 10^{1}$	$29{,}76 \pm 3{,}52 \times 10^{1}$

Como se pode constatar pela Tabela 18, para a categoria de consumo de água (WC), o erro padrão é significativamente elevado por comparação com os restantes valores (representando 126 e 118 % da média, para o acrílico reciclado e virgem, respetivamente). O segundo erro padrão mais relevante é o associado à categoria de radiação ionizante (Irad), que representa 4 a 5 % da média para o acrílico reciclado e virgem, respetivamente. Nos restantes casos, o erro padrão é, no máximo, 2 % da média. No entanto, a ordem de grandeza é igual para os dois tipos de materiais avaliados. Em particular, para as duas categorias com um erro padrão elevado, será aconselhável a recolha de dados mais específicos e numerosos. Destas categorias mencionadas é de salientar a radiação ionizante que demonstra uma importância significativa na normalização.

O objetivo principal desta ACV é comparar dois ciclos de vida e, apesar das incertezas absolutas serem importantes, o mais relevante é verificar se, mesmo existindo essas incertezas, as conclusões resultantes da ACV se mantêm.

Deste modo, no âmbito da Análise de Monte Carlo, correram-se os dois ciclos de vida em simultâneo, no programa SimaPro, e obteve-se a probabilidade da diferença dos resultados desses mesmos ciclos. Essa distribuição encontra-se representada na Figura 20, correspondendo a cor laranja a uma situação em que o desempenho ambiental do acrílico reciclado é superior ao do acrílico virgem e a cor azul à situação complementar desta, ou seja, o desempenho ambiental do acrílico virgem é superior ao do acrílico reciclado.

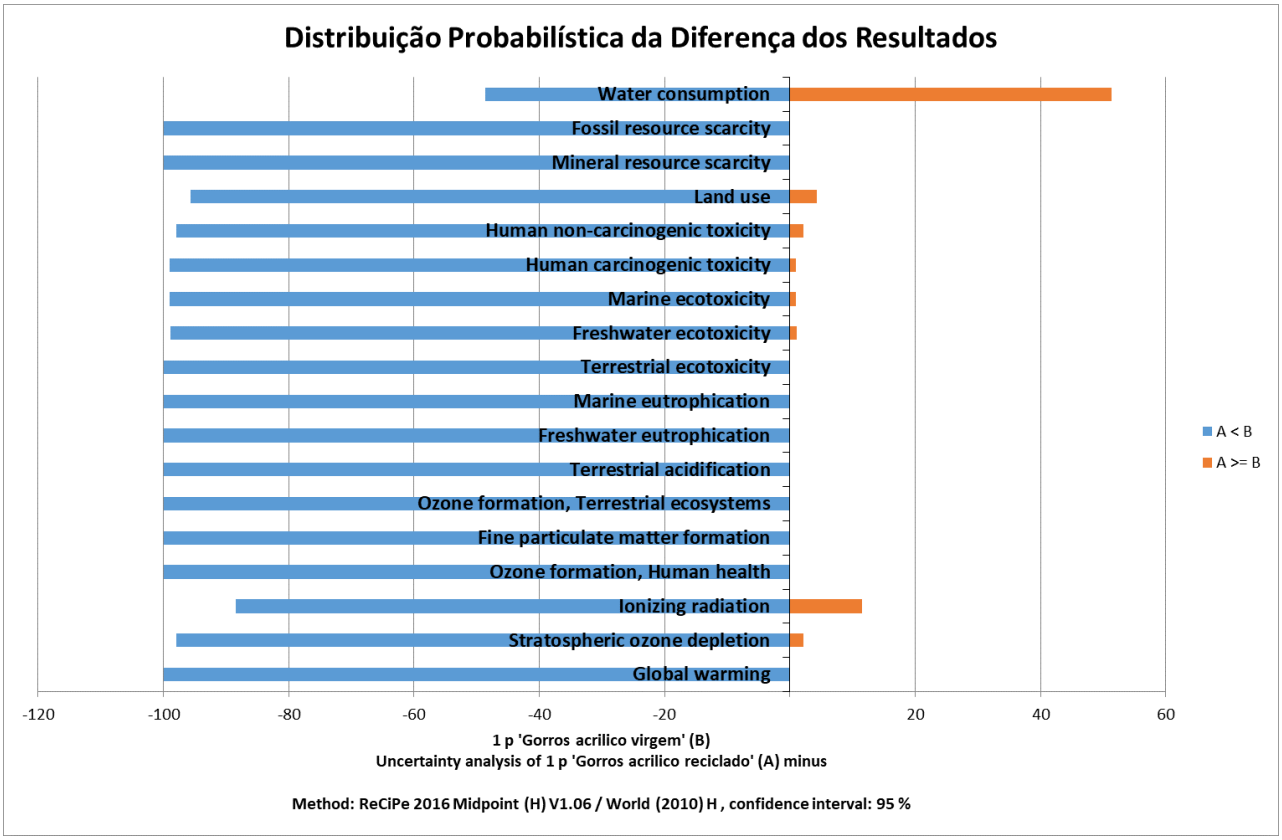


Figura 20- Análise comparativa de Monte Carlo.

Em virtude dos valores da distribuição probabilística da diferença dos resultados representados na Figura 20, é possível verificar que há categorias em que o intervalo de confiança não se encontra dentro dos 95% (as categorias em que a A>=B, representadas a cor de laranja excedem os 5%) e, por isso, a diferença entre elas não é suficientemente significativa para admitir que o desempenho ambiental de um dos produtos é melhor que o do outro nessa categoria. Em geral, o acrílico virgem tem uma maior probabilidade de obter um pior desempenho ambiental, isto é, de ter um impacto ambiental superior ao acrílico reciclado, exceto nas categorias do consumo de água (WC), em que a probabilidade é de aproximadamente 50/50. Para a categoria de radiação ionizante (Irad), na maioria dos casos o gorro de acrílico reciclado tem um menor impacto, contudo, os resultados não são defendidos como estatisticamente significativos pois o intervalo de confiança definido é de 95 %. É ainda de notar, que essas duas categorias de impacto, são das que mais se destacam nas Figuras 18 e 19 por apresentarem elevados valores de normalização.

4.6.3. Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade, prevista na fase de interpretação da ACV (NP EN ISO 14040:2006 [26]), aponta estimar os efeitos das escolhas realizadas, dos métodos considerados e dos dados inseridos, nos resultados calculados do impacte ambiental. Nesta dissertação foi realizada uma análise de sensibilidade simples, por introdução deliberada de variações nos valores dos dados de inventário nas etapas do ciclo de vida que demonstram ter um maior impacto.

Assim, modificou-se a proveniência do fio de acrílico virgem da Turquia para Espanha (outro fornecedor da empresa), adotou-se um detergente das bibliotecas do SimaPro e alterou-se os meios de transporte do produto final. No Anexo J encontram-se as tabelas com os valores calculados por etapa para as três análises realizadas.

Na primeira análise realizada, alteração do fornecedor do fio de acrílico virgem, foi considerado um novo *mix* energético, por alteração do país de onde é feita a produção e procedeu-se à atualização da distância percorrida e do meio de transporte da matéria-prima. Os *mix* energéticos utilizados são referentes a 2014 (base de dados *Ecoinvent*), sendo de esperar que, se os dados utilizados fossem mais recentes, se observariam resultados diferentes, derivados da diminuição da percentagem de emissões de carbono por aumento da incorporação de energia produzida a partir das fontes de energia renováveis. Entre 2014 e 2020, a utilização de fontes de energia renováveis em Espanha aumentou 5%, atingindo os 45% do total do *mix* energético [52], enquanto que na Turquia, entre o mesmo espaço temporal, e apesar de um aumento de cerca de 12%, apenas se atingiu a participação de 22% de energia renovável no total da energia produzida [53, 54].

Na Figura 21, é possível observar-se uma comparação do impacto total do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem com esta alteração (*i.e.* considerando os dados disponíveis na base de dados que datam 2014). Verifica-se que, com a alteração da proveniência do fio, algumas categorias como o aquecimento global (GW) e a toxicidade não carcinogénica humana (HnCTx), apresentam uma ligeira redução do impacto. No entanto, outras categorias de impacto aumentam, também ligeiramente, com esta alteração.

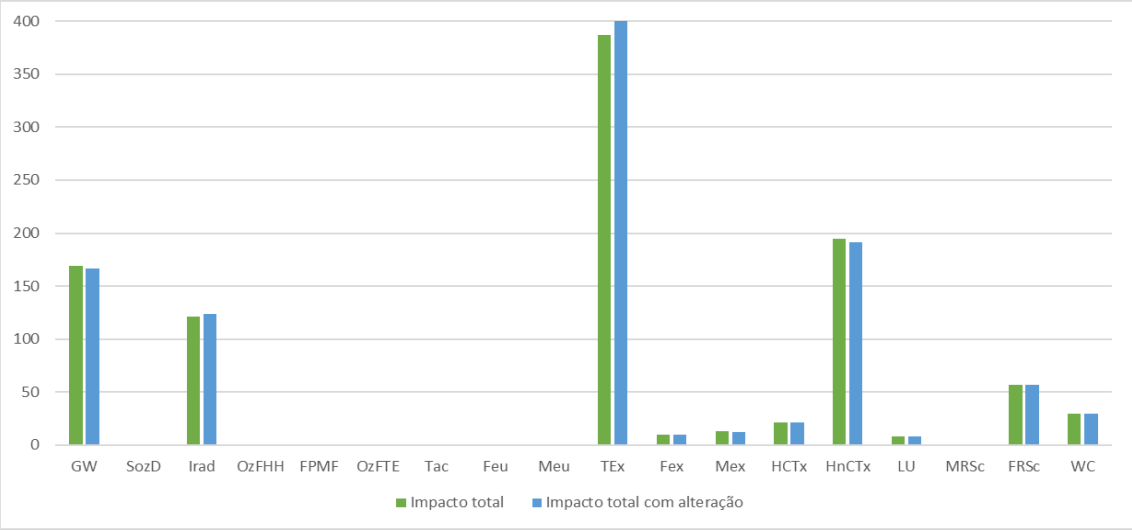


Figura 21- Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem com proveniências diferentes, resultante da alteração do mix energético e da alteração da distância e meio de transporte (barras a verde: Turquia; barras a azul: Espanha).

Analisando os resultados por etapas e comparando os resultados da Tabela J.1 (relativos a Espanha, Anexo J) com os resultados apresentados na Tabela 14 (relativos à Turquia), Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem com proveniências diferentes, resultante da alteração do *mix* energético e da alteração da distância e meio de transporte (barras a verde: Turquia; barras a azul: Espanha).constata-se que a fase da produção do fio de acrílico diminui ligeiramente o impacto em algumas categorias ao ocorrer em Espanha. Porém, a alteração do modo de transporte da combinação marítimo e rodoviário para apenas o modo rodoviário, aumenta o impacto dessa etapa em todas as categorias, não se registando uma modificação suficiente para justificar esta alteração.

Na segunda análise de sensibilidade alterou-se a composição do detergente utilizado nas lavagens na etapa da utilização para um listado na base de dados *Ecoinvent*. A comparação do impacto total do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem com e sem esta alteração na etapa da utilização, encontra-se na Figura 22.

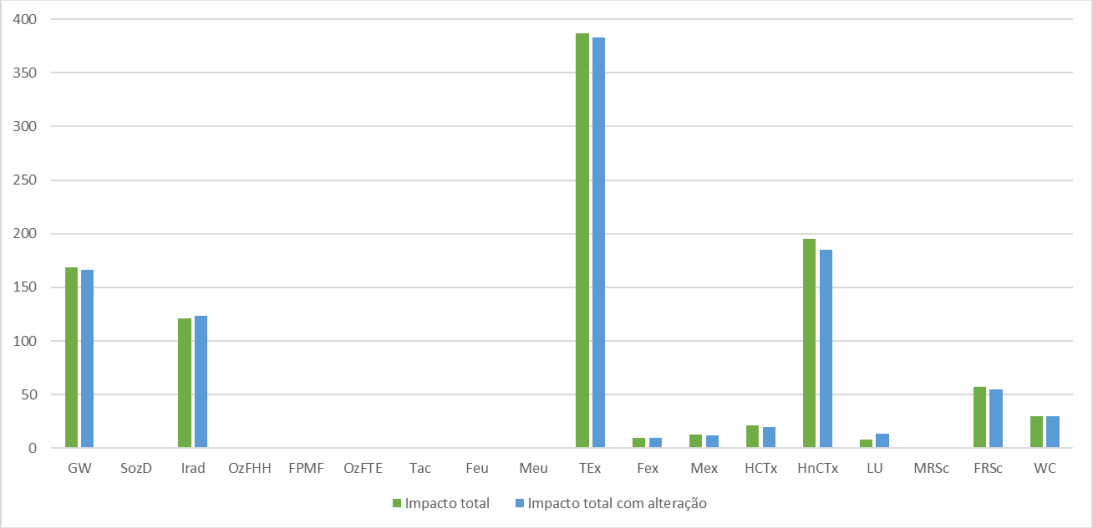


Figura 22- Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem por alteração do detergente utilizado na fase de uso (barras a verde: detergente típico [19]; barras a azul: detergente da biblioteca do SimaPro).

Como se pode observar no gráfico, para as três categorias com maior impacto, aquecimento global (GW), ecotoxicidade terrestre (TEx) e a toxicidade não carcinogénica humana (HnCTx), a alteração do detergente ajuda a reduzir o impacto total, apesar a diferença ser ligeira. Todavia, na categoria de ionização radiante (Irad) e uso do solo (LU), esta alteração vai causar um ligeiro aumento do impacto total. Estes resultados demostram que diferentes detergentes, podem induzir diferenças significativas ao ponto de alterar os impactos totais do ciclo de vida do produto.

Numa terceira análise, alterou-se o meio de transporte do produto final, mantendo-se as mesmas distâncias, e calcularam-se os impactos totais. Para além do transporte rodoviário, considerado inicialmente, analisou-se a possibilidade do transporte se realizar via marítima e por via aérea. Na Figura 23 encontra-se a representação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de fio de acrílico virgem com diferentes modos de transporte do produto final.

As diferenças nos resultados obtidos para as várias possibilidades de meios de transporte do produto final são mais evidentes, em comparação com as alterações anteriores. Verifica-se que o modo de transporte utilizado atualmente é o que causa maior impacto em todas as categorias avaliadas. Nas categorias de ecotoxicidade terrestre (TEx) e toxicidade não carcinogénica humana (HnCTx), o impacto desse meio de transporte chega a ser quase cerca do dobro dos outros meios avaliados. Nas restantes categorias, apesar de continuar a ser notória a diferença, não é tão acentuada. Entre o transporte aéreo e marítimo, os impactos são semelhantes, sendo, no entanto e na generalidade, os do transporte marítimo ligeiramente inferiores. Poderia ainda ter sido equacionado o transporte ferroviário, no entanto, só se estudaram as opções de transportes utilizadas atualmente pela FORteams LAB.

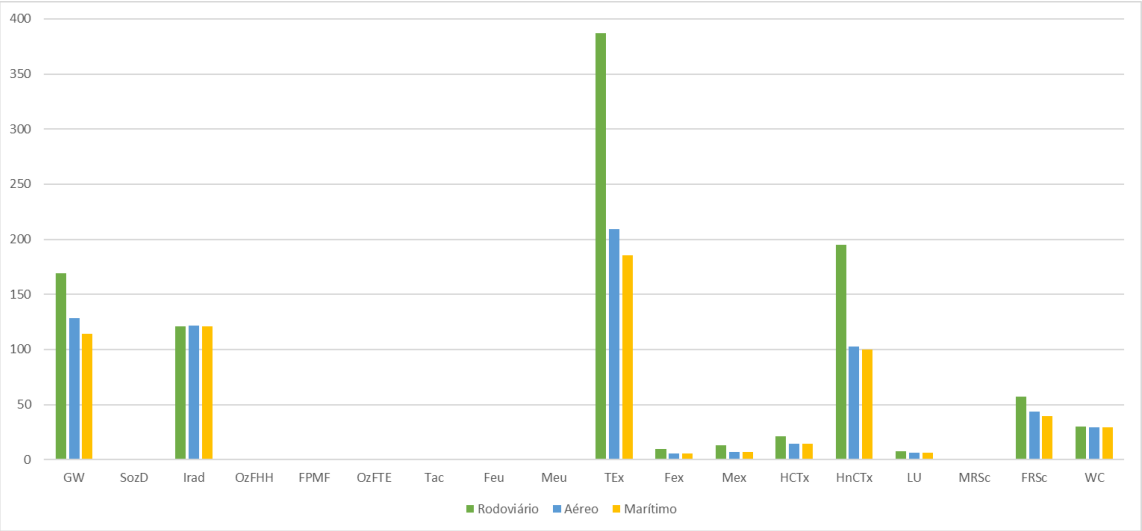


Figura 23- Comparação dos impactos do ciclo de vida de 50 gorros de acrílico virgem com meios de transporte do produto final diferentes.

5. Avaliação das emissões de GEE na FORteams LAB (Resumo do estudo elaborado pelo CITEVE)

O estudo realizado pelo CITEVE teve como principal objetivo a determinação das emissões de GEE da FORteams LAB, no ano de 2021, considerado como ano base para a elaboração de um plano de ações de redução de emissões, e respetiva oportunidade de implementação, que visem o aproximar da empresa da neutralidade carbónica. A partir dos resultados apresentados nesse relatório, a FORteams irá definir as suas metas de redução de emissões e definir as ações a implementar para as atingir.

Como mencionado anteriormente, o estudo do CITEVE [55] orienta-se pelas diretrizes da norma ISO 14064-1:2018 e do *GHG Protocol*.

O ano selecionado para reporte das emissões foi o ano de 2021, que foi considerado representativo do perfil de produção normal da empresa e foram apenas contabilizadas as emissões de GEE, uma vez que a empresa não apresenta soluções de remoção de dióxido de carbono.

5.1. Fronteiras

5.1.1. Fronteira Organizacional

Para este trabalho [55], optaram por seguir a abordagem de consolidação por controlo operacional, onde se analisam as emissões de GEE de duas instalações pertencentes e controladas pela empresa e ainda as emissões da empresa FancyFavorite Unipessoal, Lda, que é uma empresa de confeção que opera na instalação da FORteams LAB e sobre a qual a FORteams LAB tem controlo financeiro e operacional. Desta forma, todas as emissões de GEE serão imputadas a 100% à FORteams LAB.

5.1.2. Fronteira de Reporte

A FORteams LAB produz produtos de *merchandising* desportivo, etiquetas estampadas e tecidas e produtos gráficos, divididos por 2 instalações industriais A Fancy, empresa do grupo, localiza-se no mesmo edifício da sede da FORteams LAB, sendo que utiliza energia elétrica disponibilizada pela FORteams LAB

São analisadas as emissões de gases com efeito de estufa dos gases definidos no protocolo de Quioto [56]: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcabonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e trifluoreto de azoto (NF_3). As formas de energia utilizadas, nas instalações consideradas são:

- energia elétrica para a geração de força motriz e iluminação;
- gasóleo, utilizado na frota interna de transportes.

5.2. Inventário de GEE

De acordo com o solicitado pela empresa, neste estudo [55], o CITEVE considerou as emissões estacionárias de Âmbito 1 associadas à queima de combustível da frota interna de transportes; as emissões de Âmbito 2 associadas à aquisição de energia elétrica da rede para as duas instalações industriais; e as emissões de Âmbito 3, emissões indiretas associadas à cadeia de valor da organização. Relativamente às emissões de Âmbito 3, foram consideradas as 15 categorias definidas no *GHG Protocol*, tendo sido realizada uma primeira verificação qualitativa para definir quais as categorias aplicáveis à empresa. Após essa verificação, aferiu-se que as categorias 2, 6, 8, 10, 13, 14 e 15 não são aplicáveis à FORteams LAB no ano de 2021, razão pela qual não foram contabilizadas.

A metodologia utilizada para o cálculo das emissões de GEE baseia-se em dados reais da atividade (por exemplo, consumos de energia elétrica e consumos de combustíveis). As emissões de cada um dos GEE foram depois convertidas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO_2 eq) tendo em conta o potencial de aquecimento global do respetivo gás publicado no *4th Assessment Report* do IPCC [57] e utilizado também no NIR (National Inventory Report) [58].

5.2.1. Emissões Âmbito 1

As emissões móveis de Âmbito 1 foram determinadas multiplicando a quantidade de combustíveis adquiridos para a frota de transportes, durante o ano de 2021, retiradas das faturas do fornecedor, pelo fator de emissão de cada um dos GEE considerados. Assim sendo, as emissões associadas à combustão móvel de Âmbito 1 da FORteams LAB, no ano 2021, representam um total de 15,96 t CO_2 eq.

5.2.2. Emissões Âmbito 2

As emissões de Âmbito 2, associadas ao consumo de eletricidade, foram calculadas multiplicando a quantidade de energia elétrica consumida em cada uma das instalações pelo fator de emissão para a eletricidade, de 0,184 kgCO_2 eq/kWh publicado pela APA no documento Fator de Emissão de Eletricidade [59]. As emissões representam então, um total de 128,32 t CO_2 eq e são maiores na instalação da sede do que na instalação da tecelagem de etiquetas tecidas devido à dimensão das instalações e consumo de energia elétrica associada ao processo produtivo.

5.2.3. Emissões do Âmbito 3

As emissões do Âmbito 3 são apresentadas na Tabela 19, para cada uma das categorias definidas no GHG Protocolo aplicáveis à FORteams LAB. O total das emissões de GEE deste âmbito é 1697,62 t CO_2 eq.

Tabela 19- Emissões de Âmbito 3 totais e por categoria consideradas na avaliação da pegada de carbono da FORteams LAB [55].

Categoria	Descrição	Emissões GEE	
		t CO_2 eq	%
Categoria 1	Aquisição de bens e serviços	1270,06	74,8
Categoria 3	Atividades relacionadas com combustíveis e energia (não são contempladas nos scopes 1 e 2)	13,10	0,8
Categoria 4	Transporte e distribuição a montante	159,32	9,4
Categoria 5	Resíduos gerados nas operações	1,06	0,1
Categoria 7	Transporte para o emprego	28,21	1,7
Categoria 9	Transporte e distribuição a jusante	133,39	7,8
Categoria 11	Utilização dos produtos vendidos	88,57	5,2
Categoria 12	Fim de vida dos produtos vendidos	3,90	0,2
Total		**1697,62**	

5.3. Conclusões

Assim, segundo o estudo elaborado pelo CITEVE para a FORteams LAB e atendendo aos consumos registados no ano de 2021, as emissões de GEE da empresa totalizaram 1841,90 t CO_2 eq. Verifica-se que grande parte das emissões da FORteams LAB são de Âmbito 3, representando cerca de 92% do total, as emissões de Âmbito 2 representam 7% do total enquanto as emissões de Âmbito 1 representam menos de 1% do total. Esta distribuição das emissões de GEE por Âmbito é justificável pela atividade da empresa FORteams LAB, que não é uma organização grande consumidora de energia, pelo que era expectável que apresentasse valores baixos de emissões de Âmbito 1 e âmbito 2 quando comparados com as emissões de Âmbito 3.

As emissões de Âmbito 1 são na totalidade provenientes da frota de transportes da empresa, visto que a empresa não tem fontes estacionárias de emissão de GEE [55].

Tendo em conta o grande peso das matérias-primas adquiridas no total de emissões da FORteams, interessa também analisar que matérias-primas têm um maior contributo para as emissões da empresa. Verifica-se então que as matérias-primas com mais peso nas emissões são genericamente as mais consumidas, nomeadamente o fio 100% acrílico e a malha 100% poliamida, motivo pelo qual a avaliação de ciclo de vida realizada no âmbito desta dissertação, se focou no impacto do acrílico virgem em comparação à possível substituição de matéria-prima por acrílico reciclado. Esta informação encontra-se no Anexo K.

5.4. Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

De modo a efetuar o cálculo da pegada de carbono corporativa da FORteams LAB, o CITEVE apresentou à empresa uma lista com os dados que seria necessário fornecer para a determinação da PC atual. Os dados solicitados encontram-se no Anexo K.

Dois dos tópicos em que foi pedida a colaboração, por parte do parceiro CITEVE, foram a definição de cenários da utilização dos principais produtos produzidos (incluído o número de lavagens por anos e o período de uso até descarte) e a definição de cenários para o fim de vida dos produtos (reutilização e descarte como resíduo), para análise caso a caso.

Deste modo, no âmbito desta dissertação e no alinhamento do objetivo final do CITEVE, foi criado, realizado e analisado um questionário à comunidade académica com o intuito de entender a utilização destes produtos têxteis. Este questionário obteve aprovação final da equipa da FORteams LAB e do CITEVE antes de ser enviado. Uma cópia deste inquérito é disponibilizada no Anexo K, nas Figuras K.3 à K.11.

Da aplicação desse inquérito obtiveram-se 522 respostas. A partir dessas respostas, foram calculados os valores relativos à média de lavagens anuais e ao tempo média de vida destes produtos (posteriormente utilizados no estudo de ACV, (no âmbito desta dissertação) e no cálculo da pegada de carbono da empresa (por parte do CITEVE), para as categorias 11 e 12 das emissões de Âmbito 3. Os resultados obtidos encontram-se apresentados nas Tabelas 20, 21 e 22.

Tabela 20 - Inquérito sobre a utilização de gorros: Número de aquisições por tipo de produtos.

***Q:** Alguma vez adquiriu um produto deste tipo?*	**Gorro desportivo**	**Gorro do dia-a-dia**	**Cachecol desportivo**	**Cachecol do dia-a-dia**
Sim	66	359	183	432
Não	456	163	339	90

Tabela 21- Inquérito sobre a utilização de gorros: Média das respostas obtidas, por tipo de produto.

Média por ano	**Gorro desportivo**	**Gorro do dia-a-dia**	**Cachecol desportivo**	**Cachecol do dia-a-dia**
Número de lavagens	2,2	1,6	1,1	2,0
Tempo de vida dos produtos até ao descarte	7	6	7	6
Tempo de vida dos produtos sem descarte	7	6	8	6

Tabela 22- Inquérito sobre a utilização de gorros: Percentagem de descarte por tipo de produto.

Q: Alguma vez descartou um produto deste tipo?	**Gorro desportivo**	**Gorro do dia-a-dia**	**Cachecol desportivo**	**Cachecol do dia-a-dia**
Sim	21 (31,8%)	118 (32,9%)	18 (9,8%)	251 (58,1%)
Não	45 (68,2%)	241 (67,1%)	165 (90,2%)	181 (41,9%)

Nas Figuras 24, 25, 26 e 27 foi incluída a representação gráfica do fim de vida útil de cada produto. Como é possível observar, para todos os produtos questionados, mais de 50% dos inquiridos tem como destino final dos seus produtos a reutilização.

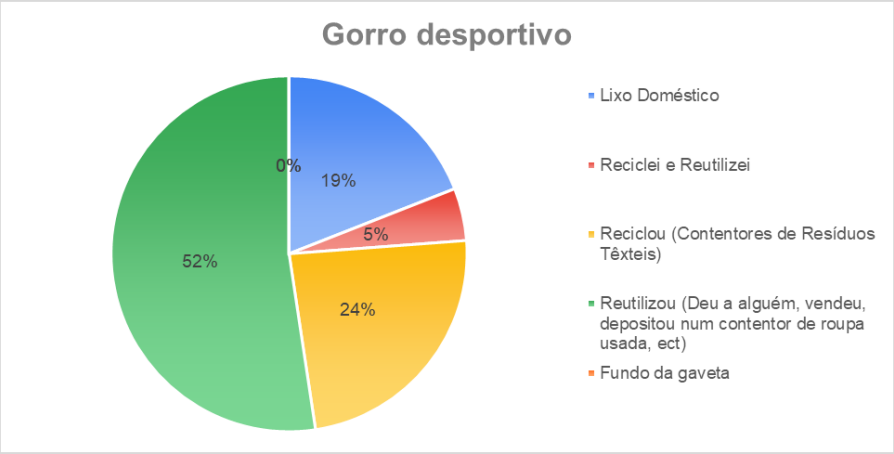


Figura 24- Destinos finais de gorros de merchandising desportivo.

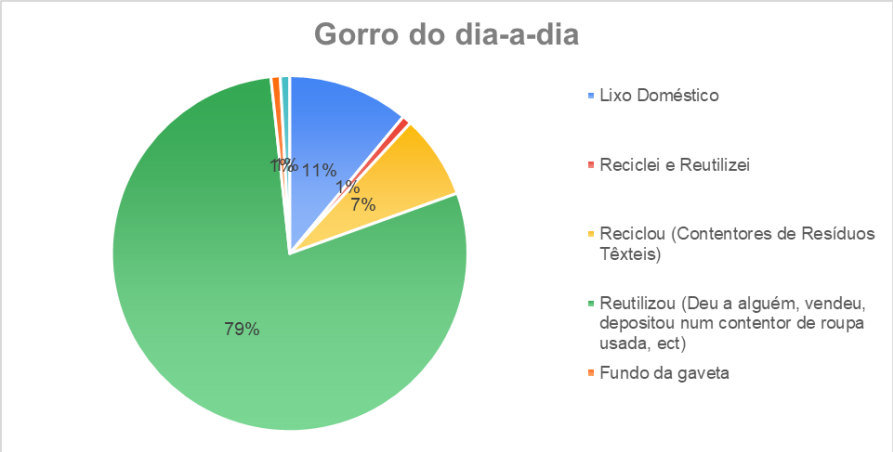


Figura 25- Destinos finais de gorros de dia a dia.

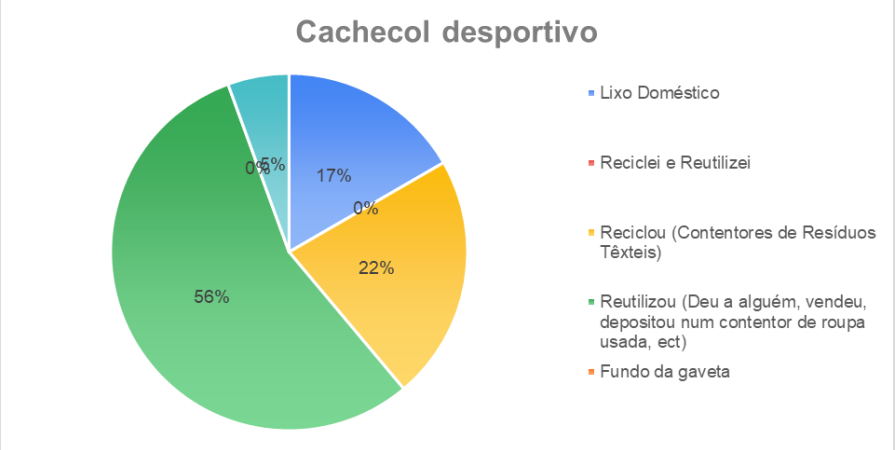


Figura 26- Destinos finais de cachecóis de merchandising desportivo.

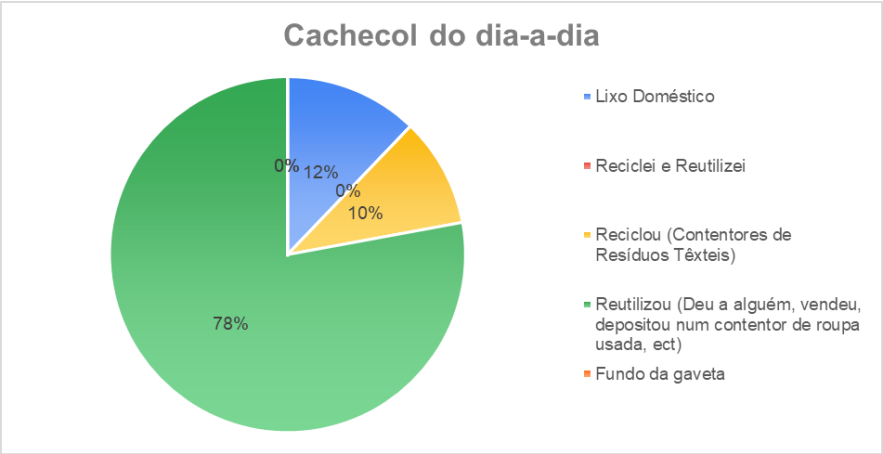


Figura 27- Destinos finais de cachecóis de dia a dia.

6. Recomendações para a melhoria de desempenho da FORteams LAB

6.1. Ao nível do Processo Produtivo

Relativamente ao processo de produção do fio de acrílico, e uma vez que foi adotado um estudo previamente realizado deste processo como base da avaliação de ciclo de vida, adotam-se também as recomendações para melhoria de desempenho do setor, que constam no artigo *"Cradle to gate environmental impact assessment of acrylic fiber manufacturing"* (Avaliação do impacto ambiental do fabrico de fibra acrílica do berço à porta) [20].

Da investigação do processo de fabrico do fio de acrílico implementado na empresa, conclui-se que podem ser introduzidas várias melhorias para minimizar os impactos negativos deste, na sua transição para uma maior sustentabilidade.

Uma vez que, o consumo de recursos é a categoria com maior impacto ao longo do ciclo de vida dos gorros fabricados com fio acrílica, esta é a principal questão que deve ser abordada. Assim sendo, é necessário adotar práticas de gestão de energia mais adequadas para minimizar a utilização dos combustíveis fósseis, como por exemplo, a utilização de máquinas de lavar, de secar e de ferros de engomar energeticamente mais eficientes. Igualmente importante é a melhoraria da manutenção das máquinas através da aplicação de manutenção preventiva e da otimização das operações das caldeiras.

As práticas de redução do consumo de água e energia incluem a utilização de máquinas de tingimento com taxa de álcool inferior, assim como o incremento da taxa de reciclagem de efluentes através da utilização de sistemas internos de tratamento dos mesmos.

É ainda possível obter uma redução global dos impactos para a saúde humana e para a qualidade do ecossistema, através da substituição de químicos nocivos por opções tecnológicas mais ecológicas, por exemplo, com a substituição de químicos por enzimas.

Outra abordagem importante para reduzir o impacto global dos têxteis no ambiente é a redução dos resíduos têxteis gerados, através da recuperação dos resíduos de tecido durante a produção e o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos para reciclagem de misturas de fibras e produção de fio reciclado. A abordagem sugerida alinha-se com o projeto de investigação que a FORteams LAB está a realizar, com a reciclagem e posterior fabrico de peças com acrílico reciclado.

O fabrico do lote dos gorros é caracterizado, somente, pelo gasto de energia e de fio de acrílico (independentemente deste fio ser de origem 100% natural ou ser obtido por reciclagem). Assim, as recomendações a efetuar para esta etapa, passam novamente pela melhoraria da manutenção das máquinas, através da aplicação de manutenção preventiva, pela otimização das operações e pela utilização de equipamentos mais eficientes energeticamente.

Relativamente aos resíduos de acrílico que se originam durante as fases do fabrico dos gorros, sugere-se que se maximize o investimento na recolha, armazenamento e tratamento desses resíduos, para dar origem a matéria-prima que pode ser reintroduzida no processo produtivo.

Apesar da fase de uso não pertencer ao processo produtivo, constitui uma etapa do ciclo de vida e, por isso, é de mencionar, que uma possível recomendação para a redução dos impactos inerentes a esta etapa, é a utilização de detergentes mais ecológicos, ciclos de lavagens mais curtos e campanhas de sensibilização ambiental para o consumidor.

6.2. Na transição para a Neutralidade Carbónica

O setor da indústria é constituído por uma vasta diversidade de atividades e processos. As suas emissões de GEE derivam do consumo de combustíveis fósseis e, em alguns setores, como o têxtil, de emissões dos processos químicos envolvidos.

Assim, no RNC2050 [23], são recomendadas, genericamente, alterações dos padrões de consumo e de fatores como o dinamismo no setor da construção, a redução do uso dos plásticos nas embalagens, o aumento das taxas de reciclagem e a substituição de combustíveis nos transportes, por veículos elétricos e/ou movidos a hidrogénio, por exemplo.

Os principais vetores da descarbonização, mencionados no RNC2050 [23], são a eletrificação, o calor de alta temperatura proveniente de cogeração renovável e o solar térmico para as necessidades de calor de baixa/média temperatura. Para além disso, a aposta nas simbioses industriais e no reaproveitamento de recursos com maior incorporação de materiais secundários e aumento da reciclabilidade dos produtos produzidos, podem ser uma mais-valia para o alcance da neutralidade carbónica. Segundo a ADENE (Agência para a Energia), a indústria têxtil está a fazer mais investimentos A notícia da revista Portugal Têxtil, do dia 21 de setembro de 2021 com o título " Eficiência energética no terreno", refere que, segundo a ADENE (Agência para a Energia), a indústria têxtil está a fazer mais investimentos na recuperação de calor, em iluminação eficiente e cogeração, sendo que são igualmente áreas que permitem uma maior economia nas faturas mensais [60].

No intuito da transição para a neutralidade carbónica da FORteams LAB, o CITEVE [55], no relatório que preparou para o efeito, indica que as ações para redução das emissões de Âmbito 1 e Âmbito 2 serão as mais fáceis de implementar por dependerem apenas da empresa. Sugere que sejam implementadas alterações a nível energético, por exemplo, a possibilidade da instalação de painéis solares fotovoltaicos como fonte de energia renovável.

No entanto, tendo em conta a distribuição das emissões por Âmbito, será forçoso que a empresa implemente ações para reduzir as emissões de Âmbito 3. A atuação na compra de matérias-primas, principalmente se a empresa investir na utilização de fio acrílico reciclado, na aquisição de veículos com emissões 'zero' e optar por efetuar o transporte da matéria-prima adquirida, poderá permitir obter reduções significativas das emissões de GEE. Salienta-se que, embora esta seja a opção mais eficaz, o facto de a empresa não pode controlar facilmente a produção da sua matéria-prima, reduz as probabilidades de sucesso da mesma. Poderá ser equacionada e incentivada a pesquisa do mercado por novos fornecedores que tenham processos de produção com menores emissões líquidas.

Podem também ser implementadas ações que visem a remoção de CO_2 da atmosfera, como a plantação de árvores em terrenos propriedade da empresa.

7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Neste estudo foram caracterizados o sistema e subsistemas associados à produção de um lote de 50 gorros de fio de acrílico virgem e de fio de acrílico reciclado inserido no contexto empresarial da FORteams LAB. Este sistema inclui as etapas da produção da fibra, transporte da matéria-prima, produção dos gorros, transporte do produto final, uso e fim de vida. Foi também abordado um estudo elaborado pelo CITEVE, em que este quantificou e reportou as emissões de GEE da empresa, com o objetivo de calcular a pegada de carbono corporativa e, posteriormente, criar um *roadmap* para a neutralidade carbónica.

Com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e consumo de recursos naturais do ciclo de vida do lote de gorros, foi avaliado o potencial impacto ambiental global para os dois tipos de matéria-prima, utilizando a metodologia *ReCiPe* 2016 Midpoint (H), que inclui 18 categorias. Após a avaliação do impacto ambiental das duas matérias-primas por etapa do ciclo de vida, realizou-se uma avaliação comparativa, seguida de uma normalização, uma análise de Monte Carlo e análise de sensibilidade. A análise de sensibilidade visou três cenários diferentes, em que se alteraram dados relativos às etapas em que se observaram maiores impactos.

As principais conclusões relativas ao estudo efetuado são as seguintes:

- Durante o ciclo de vida dos 50 gorros de fio de acrílico virgem, verifica-se que as etapas com maior impacto são o uso dos gorros, a produção da fibra de acrílico e o transporte do produto final, sendo cada etapa a mais impactante em seis das categorias de impacto. Quando não se considera a etapa do uso, a produção do fio de acrílico passa a ser responsável por 90% do consumo de água deste ciclo de vida e o transporte do produto final a etapa mais impactante para as restantes onze categorias.
- Para o ciclo de vida dos 50 gorros de fio de acrílico reciclado observa-se que, considerando o uso, as etapas com maior impacto são o transporte do produto final, para dez das dezoito categorias avaliadas, e o uso para as restantes. Quando não se considera a etapa do uso, verifica-se que a produção do fio de acrílico reciclado passa a ser a etapa com mais representatividade na categoria de eutrofização de água doce e que a etapa da produção dos gorros é que apresenta maior representatividade percentual para a categoria de eutrofização marinha.
- Ao comparar os impactos totais das duas matérias-primas é notório que, o lote de gorros com fio de acrílico virgem, tem um maior impacto em todas as categorias analisadas, comparativamente ao gorro com fio de acrílico reciclado. No entanto, existem categorias, como a radiação ionizante, em que a diferença de impacto é quase nula. Comparando os resultados para a produção do lote de gorros com e sem a fase de uso, é possível constatar que as diferenças de impactos das matérias-primas são mais acentuadas quando esta etapa não é considerada.
- Das 18 categorias de impacto ambiental avaliadas, as que apresentam valores mais elevados e consequentemente maior representatividade no ciclo de vida do lote de gorros, tanto de acrílico virgem como de acrílico reciclado, são o aquecimento global, a radiação ionizante, a ecotoxicidade terrestre e a toxicidade carcinogénica não humana.
- Com a realização da normalização foi possível aferir que as categorias toxicidade carcinogénica humana, radiação ionizante, ecotoxicidade de água doce e marinha se encontram significativamente acima da média por pessoa e por ano. Assim sendo, os

impactos causados por ambos os processos estudados, nestas categorias mencionadas, são realmente significativos. A análise de Monte Carlo demostra que, em geral, o acrílico virgem tem uma probabilidade superior de obter um maior desempenho ambiental, exceto nas categorias do consumo de água (WC) e da radiação ionizante (Irad).

- A análise de sensibilidade considerou três cenários alternativos: a alteração da proveniência do fio da Turquia para Espanha, a alteração do detergente utilizado e a alteração do meio de transporte do produto final. Para estes cenários, verificou-se que a fase da produção do fio de acrílico diminui ligeiramente o impacto de algumas categorias ao ocorrer em Espanha, não se registando, no entanto, uma alteração suficiente para justificar esta alteração. A modificação do detergente na fase do uso pode constituir diferenças ao ponto de alterar os impactos totais do ciclo de vida do produto, no entanto não são significativas. A alteração do meio de transporte do produto final pode reduzir, em cerca de metade, o impacto das categorias de ecotoxicidade terrestre e toxicidade não carcinogénica humana, devendo-se considerar a possibilidade dessa troca.

Relativamente ao estudo da pegada de carbono da empresa realizado pelo CITEVE, conclui-se que, em 2021, a FORteams LAB emitiu 1841,90 t CO_2 eq, sendo que 92% dessas emissões são de Âmbito 3, ou seja, exteriores à empresa.

Possíveis desenvolvimentos futuros, poderão estar associados a um alargamento das fronteiras do sistema de forma a completar o estudo realizado por inclusão de outros sistemas e subsistemas que possam apresentar relevância para o ciclo de vida dos gorros, entre estes inclui-se, por exemplo, o subsistema associado à gestão de resíduos de embalagens gerados durante o ciclo de vida. São por isso identificadas algumas limitações do trabalho realizado, relacionadas com a recolha de dados dos fornecedores, seleção de conjuntos de dados e as suas limitações geográficas e temporais.

Os dados primários fornecidos têm um grau de incerteza associado, sendo que, numa situação ideal, estes deveriam ser recolhidos diretamente das máquinas e contadores de energia, de cada fornecedor. Os dados secundários de *Ecoinvent* não são por vezes específicos das regiões avaliadas, uma vez que, por exemplo, os produtos químicos e materiais são principalmente modelados utilizando dados europeus. Isto pode ser ultrapassado utilizando dados mais detalhados relativos às realidades locais, no entanto, despende de muito tempo. Igualmente se nota que a avaliação do impacto ao nível do ciclo da água não contempla o facto de, em Portugal, ser muito reduzido o número de situações em que as águas residuais não sofrem tratamento, pelo que este efeito foi majorado.

Embora a seleção dos conjuntos de dados tenha sido realizada com o máximo cuidado e de acordo com a realidade, , por vezes, estes não são específicos ou podem até mesmo ser antigos. Outra ação a realizar, passa por uma nova avaliação de ciclo de vida, tendo em consideração os resultados obtidos pela normalização e pela análise de sensibilidade.

Sugere-se ainda, que no futuro se investigue e avalie possíveis alternativas de transporte, como veículos elétricos e movidos a hidrogénio, de equipamentos de produção mais eficientes e com menores consumos e a possibilidade de transitar para uma fonte de energia renovável, na fase da produção inerente à empresa.

Referências Bibliográficas

1. Islam, M.S., Ahmed, S., Azady, M.A.R., *Sustainable technologies for textile production*, in *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles* M.M. Ibrahim, H., Editor. 2021, Woodhead Publishing: United Kingdom. p. 625.
2. Fan, J., Hunter, L., *Engineering apparel fabrics and garments*. 2009.
3. Pervez, M.N., Mondal, M. I. H., Cai, Y., Zhao, Y., Naddeo, V., *Textile waste management and environmental concerns*, in *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles* M.M. Ibrahim, H., Editor. 2021: United Kingdom. p. 719.
4. Murthy, H.V.S., *Introduction to Textile Fibres*. 2015, New York.
5. Exchange, T. *The Global Fiber Market*. 2021 [cited 2022; Available from: https://textileexchange.org/preferred-fiber-and-materials-market-report/.
6. ATP. *Associação Têxtil e Vestuário de Portugal, Fashion From Portugal* 2019 [cited 2022; Available from: https://atp.pt/pt-pt/projetos/fashion-from-portugal/.
7. *European Parliament, The impact of textile production and waste on the environment (infographic)*. 2021 18/04/2022]; Available from: https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographic.
8. Yacout, D.M.M., Hassouna, M. S. , *Identifying potential environmental impacts of waste handling strategies in textile industry.* Environmental Monitoring and Assessment volume, 2016. **188**: p. 445.
9. APA. *Agência Portuguesa do Ambiente, Relatório Anual de Resíduos Urbanos*. 2021; Available from: https://apambiente.pt/residuos/dados-sobre-residuos-urbanos.
10. FORTeams, *RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE*. 2021, FORTeams. p. 68.
11. CITEVE, *Proposta para a Determinação da pegada de carbono*. 2021.
12. CITEVE, *Proposta para a Assistência Técnica para a Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) ISO 14001:2015*. 2021.
13. Pre-Sustainability. *LCA software for informed change-makers*. 2022; Available from: https://pre-sustainability.com/articles/building-an-ecosystem-of-informed-change-makers/.
14. *European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)*. Reference Document on Best Available Techniques for

the Textiles Industry 2010 [cited 2022; Available from: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/TXT_bref_D1_1.pdf.

15. Muthu, S.S., *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain*. Second ed. Textile Institute Book. 2020: Woodhead Publishing.
16. Payet, J., *Assessment of Carbon Footprint for the Textile Sector in France.* Sustainability, 2021. **13**: p. 2422.
17. Carvalho, D.M., *Caracterização ambiental do setor têxtil em Portugal (Dissertação de Mestrado da Universidade de Aveiro)*. 2018.
18. CITEVE, *Algodoeira - Manual de prevenção dos riscos profissionais*. 2002.
19. Beton, A., Farrant, D. D. L., Gobon, T., Guern, Y. L., Desaxce M., Perwueltz, A., Boufateh, I., *Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles)*, J.K.I.S.O.C. Wolf, M.; Dodd, N., Editor. 2014.
20. Yacout, D.M.M., El-Kawi, M. A. A., Hassouna, M. S., *Cradle to gate environmental impact assessment of acrylic fiber manufacturing.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 2016. **21**: p. 326.
21. Nolimal, S., *Life Cycle Assessment of Four Different Sweaters.* DePaul Discoveries, 2018. **7**: p. Artigo 9.

22. Munasinghe, P., Druckman, A., Dissanayke, D.G.K, *A systematic review of the life cycle inventory of clothing.* Journal of Cleaner Production, 2021. **320**: p. 128852.
23. APA, *República Portuguesa, Fundo Ambiental, Roteiro Para A Neutralidade Carbónica (RNC2050)*. 2019.
24. ONU, *United Nations, Paris Agreement*. 2015.
25. Yan, Y., Wang, C., Ding, D., Zhang, Y., Wu, G., Wang, L., Liu, X., Du, C., Zhang, Y., Zhao, C., *Industrial carbon footprint of several typical Chinese textile fabrics.* Acta Ecologica Sinica, 2014. **36**: p. 119.
26. ISO, *International Organisation for Standardisation, NP EN ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment -Principles and framework*. 2006.
27. ISO, *International Organisation for Standardisation, EN ISO 14044:2006 - Environmental management - Life cycle assessment-Requirements and Guidelines*. 2006.
28. ISO, *International Organisation for Standardisation, EN ISO 14064-1:2018 :Greenhouse gases*. 2018.
29. *World Business Council for Sustainable Development, The Greenhouse Gas Protocol*. 2015 [cited 2022; Available from: https://ghgprotocol.org/.
30. APCER. *Associação Portuguesa de Certificação, Verificação da Pegada de Carbono*. Available from: https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/174/pegada-de-carbono.
31. AEA. *Agência Europeia do Ambiente, Mitigação dos efeitos das alterações climáticas*. 2020; Available from: https://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/intro.
32. Portugal, B. *World Business Council for Sustainable Development, Protocolo de Gases com Efeito Estufa - Normas Corporativas de Tranparência e Contabilização*. 2015; Available from: https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/2667/33457/1.
33. APA. *Agência Portuguesa do Ambiente, Mitigação*. 2021; Available from: https://apambiente.pt/clima/mitigacao.
34. Hauschild, M., Goedkoop, M., Guinee, J., Heijungs, R., Huijbregts, M., Jolliet, O., Margni, M., Schryver, A., *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) HandbookRecommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*. 2011.
35. Huijbregts, M.A.J.S., Z.J.N.; Elshout,P.M.F.; Stam, G.; Verones, F,; Vieira, M.; Zijp, M.; Hollander, A.; Zelm, R., *ReCiPe 2016 v1.1:A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level.* The International Journal of Life Cycle Assessment, 2017. **22**: p. 138.
36. Pre-Sustainability. *ReCiPe*. 2016; Available from: https://pre-sustainability.com/articles/recipe/.
37. Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A., Strujis, J., Zelm, R., *ReCiPe 2008*, in *A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. 2013.
38. SimaPro. *Ecoinvent LCI database*. [cited 2022; Available from: https://simapro.com/databases/ecoinvent/.
39. Koç, E.K.E., *An investigation on Energy Comsumption in Yarn Production with Special Reference to Ring Spinning.* Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2007. **15**: p. 18.
40. *Google Earth*. 2022 [cited 2022 28/04]; Rota Acrílico]. Available from: https://earth.google.com/web/search/Turquia/@37.06515399,12.30937124,13.49504586a,3214088.49442863d,30y,0h,0t,0r/data=CnIaSBJCCiUweDE0YjAxNTVjOTY0ZjI2NzE6MHg0MGQ5ZGJkNDJhNjI1ZjJhGX1XBP9be0NAIdsy4Cwln0FAKgdUdXJxdWlhGAIgASImCiQJpZ6ofbcDREARtf0E2IY4KkAZdccYbgOZWUAhFT4R2rVSUcAyKQonCiUKITFNQTU3UGtad254RXpGM2N2emxkQ3d1alNpMGNNWTgzUSAB.
41. *Google Maps*. 2022 [cited 2022 28/04]; Available from: https://www.google.pt/maps/place/FORteams+LAB/@41.3715833,-

8.2988969,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd24edeff79510f3:0x8e9ec78eb370a9f0!8m2!3d41.3715793!4d-8.2967082?hl=pt-PT.

42. Commercials, M. *What is the difference between Euro 5 and Euro 6 Engines?* [cited 2022 27/05]; Available from: https://www.motuscommercials.co.uk/what-is-the-difference-between-euro-5-and-euro-6-engines.
43. EAMA, *European Automobile Manufactures Associaton, Vehicles in use Europe 2018*. 2018.
44. Presutto, M., Stamminger, R., Scialdoni, R., Mebane, W., Esposito, R. *Preparatory Studies for EcoDesign Requirements of EuPs*. Lot 14: Domestic Washing Machines and Dishwashers 2007; Available from: https://www.applia-europe.eu/images/Library/Preparatory_Study_on_Washing_Machines_-_12-2007.pdf.
45. *The Boston Consulting Group; Global Fashion Agenda, Pulse Of The Fashion Industry*. 2017; Available from: https://globalfashionagenda.org/product/pulse-of-the-fashion-industry-2017/.
46. Pre-Sustainability. *Finding your way in multifunctional processes and recycling*. 2015; Available from: https://pre-sustainability.com/articles/finding-your-way-in-allocation-methods-multifunctional-processes-recycling/.
47. EC. *European Comission Business Biodiversity, Biodiversity Measurement Approaches – Summary descriptions* 2021; Available from: https://ec.europa.eu/environment/biodiversity/business/assets/pdf/tool-descriptions/LafargeHolcim%20Spain%20summary%20description.pdf.
48. Sun, S.E., M., *Life cycle assessment and Monte Carlo simulation to evaluate the environmental impact of promoting LNG vehicles.* MethodsX, 2020. **7**: p. 101046.
49. Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E. *Introduction to LCA with SimaPro*. 2013; Available from: https://pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf.
50. Baiochi, A.S., V., *Análise de incerteza de parâmetros com base em processos críticos em avaliação do ciclo de vida de edificações.* Pesquisa em Arquitetura e Construção, 2021. **12**: p. e021027.
51. Altman, D.G., Bland, J. M., *Standard deviations and standard errors.* BMJ, 2005. **331**: p. 903.
52. IDAE. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energia, Estudios, Informes y Estadísticas*. Available from: https://www.idae.es/informacion-y-publicaciones/estudios-informes-y-estadisticas.
53. BP. *BP Statistical Review of World Energy*. 2015; Available from: http://large.stanford.edu/courses/2015/ph240/zerkalov2/docs/bp2015.pdf.
54. *Mordor Intelligence, Mercado de Energia Renovável da Turquia- Crescimento, Tendências, Impacto do Covid-19 e Previsão*. Available from: https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/turkey-renewable-energy-market.
55. CITEVE, *Relatório para Determinação da Pegada de Carbono*. 2022.
56. ONU. *Kyoto Protocol*. 1998; Available from: https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf.
57. IPCC. *The Intergovernmental Panel on Climate Change, 4th Assessment Report*. 2007; Available from: https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/.
58. APA. *Agência Portuguesa do Ambiente, National Inventory Report*. 2022; Available from: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/NIR20220415.pdf.
59. APA. *Agência Portuguesa do Ambiente, Fator de Emissão da Eletricidade*. Fator de emissão de gases com efeito de estufa da Eletricidade produzida em Portugal 2022; Available from: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/2022FEGEEEletricidade.pdf.

60. *Eficiência energética no terreno*. 2021; Available from: https://www.portugaltextil.com/eficiencia-energetica-no-terreno/.

Anexos

Anexo A: Composição do acrílico reciclado

citeve

Centro Tecnológico
das Indústrias Têxtil
e do Vestuário
de Portugal

REPORT
Nº 3219/2022 - 1

DEPARTAMENTO DE LABORATÓRIOS

Sample Ref.	Your ref.	Sample description
5532 /2022	FT_EC_010	1 Bobbin of yarn

Test/Standard: ***QUANTITATIVE ANALYSIS / EN ISO 1833-1:2010***

Results

Mean value:	Acrylic 86,4% Cotton 7,8% Polyester 4,0% Polyamide 1,5% Viscose 0,3%

Result on the basis of clean dry mass, adjusted by the agreed allowances for moisture and correction factors for loss mass during pre-treatment, if applicable.
Standards publication date:
ISO 1833 - 2 and 8:2006
ISO 1833 - 4; 7 and 11:2017
ISO 1833 - 6 and 20:2018
ISO 1833 - 3; 10; 12; 16; 17; 18 and 21:2019
Relative expand. uncertainty (k=2):
Part 6 = 2%
Other parts = 1%

Test Conditions

Other parts of the EN ISO 1833 standard used:	2;7;12;6;11

Figura A. 1- Relatório da composição do acrílico reciclado.

Anexo B: Fotografias da empresa



Figura B. 1- Máquinas de bordados.

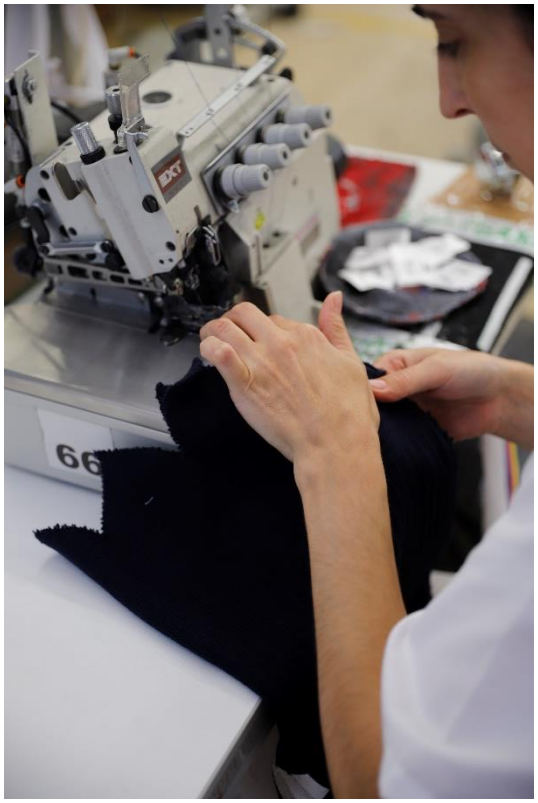


Figura B. 2- Máquina de costura.



Figura B. 3- Máquina de tecelagem.

Anexo C: Diagramas de Rede dos Processos de Produção

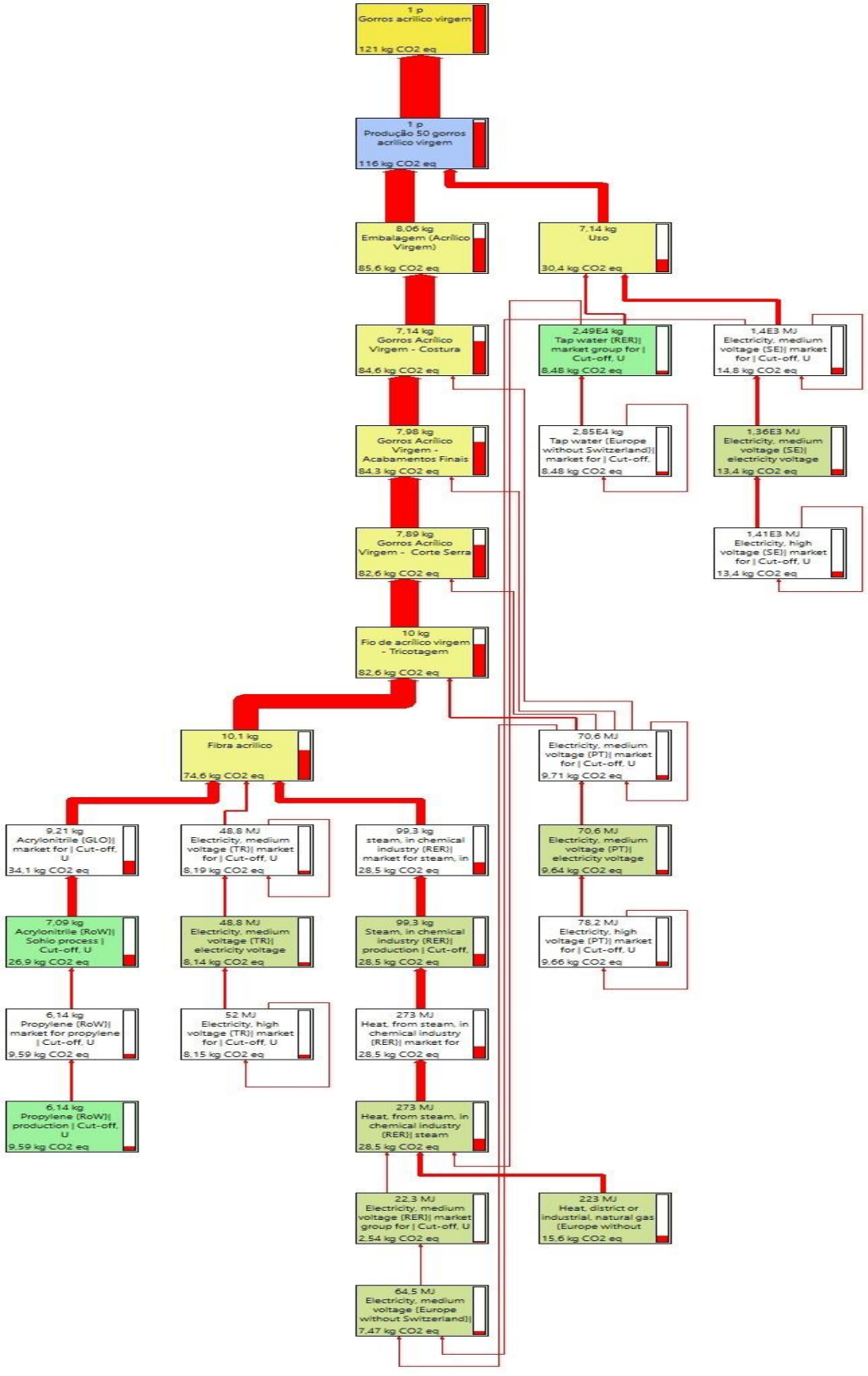


Figura C. 1- Rede de processos das fases do ciclo de vida do acrílico virgem com 7% de ampliação, para o indicador de aquecimento global.

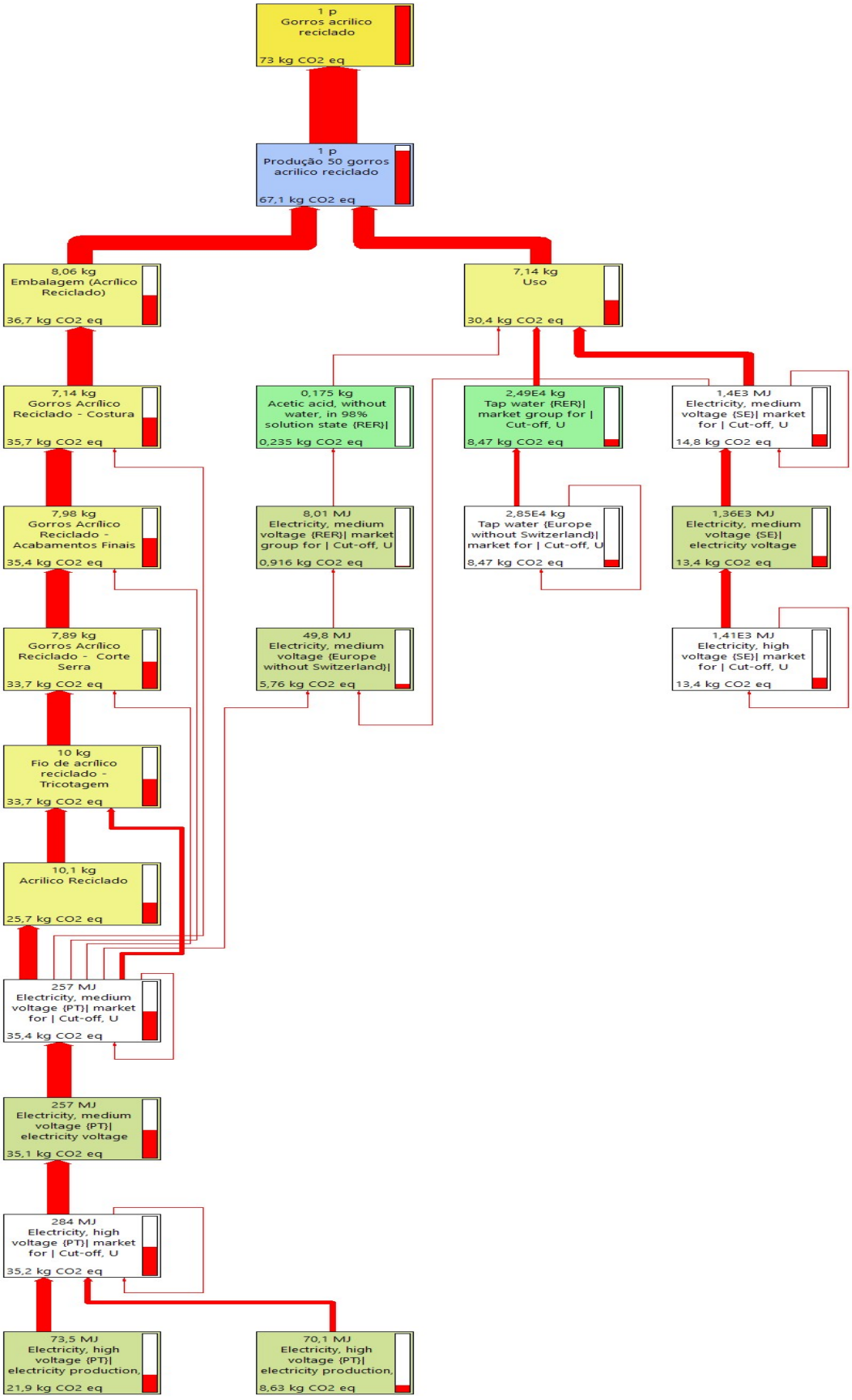


Figura C. 2-Rede de processos das fases do ciclo de vida do acrílico reciclado com 7% de ampliação, para o indicador de aquecimento global.

Anexo D: Dados do Ecoinvent

Tabela D. 1 - Inventário do Ecoinvent das entradas do ciclo de vida na fase de produção da fibra de acrílico virgem.

Entradas	Quantidade	Unidades
Vinyl acetate [GLO]| market for| Cut-off, U	0,9108	kg
Acrylonitrile [GLO]| market for| Cut-off, U	9,2091	kg
Sodium chlorate, powder [RER]|market for sodium chorate, powder| Cut-off, U	0,06072	kg
Sodium persulfate [GLO]| market for| Cut-off, U	0,18216	kg
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state [GLO]| market for| Cut-off, U	0,19228	kg
Sulfuric acid [RER]| market for sulfuric acid| Cut-off, U	0,003036	kg
Titanium dioxide [RER]| market for| Cut-off, U	0,042504	kg
Sodium sulfate, anhydrite [RER]| market for| Cut-off, U	0,07084	kg
Nitric acid, without water, in 50% solution state [RER w/o RU] | market for nitric acid,without water, in 50% solution state| Cut-off, U	0,024288	kg
Water, deionised [Europe without Switzerland]| market for water, deionised| Cut-off, U	1457,28	kg
Eletricity, medium voltage [TR]| market for| Cut-off, U	13,3584	kWh
Steam, in chemical industry [RER]| market for steam, in chemical industry| Cut-off, U	99,176	kg

Tabela D. 2 - Inventário do Ecoinvent das saídas do ciclo de vida na fase de produção da fibra de acrílico virgem

Saídas	Quantidade	Unidades
Wastewater from textile production [GLO]| market for wastewater from textile production| Cut-off, U	0,69828	m3
Hazardous waste, for underground deposit [RER]| market for hazardous waste, for underground deposits| Cut-off, U	0,022264	kg
Mixed plastics (waste treatment) [GLO]| recycling of mixed plastics| Cut-off, U	0,01012	kg
waste yarn and waste textile [GLO]| market for waste yarn and waste textile | Cut-off, U	0,04048	kg

Tabela D. 3- Inventário do Ecoinvent das entradas do ciclo de vida na fase de produção da fibra de acrílico reciclado.

Entradas	Quantidade	Unidades
Tratamento de Resíduos		
Eletricity, medium voltage [PT]| market for| Cut-off,U	51,705	kWh

Tabela D. 4-Inventário do Ecoinvent dos transportes da matéria-prima

Entradas	Acrílico Virgem	Acrílico Reciclado
Marítimo:		
Transport, freight, sea, container ship [GLO]| market for transport, freight, sea, container ship|Cut-off, U	5000 km 50,6 tkm	-----
Rodoviário:		
Transport, freight, lorry, unspecified [RER]| transport, freight, lorry, all sizes, EURO5 to generic market for| Cut-off, U	60 km 0,6072 tkm	60 km 0,6072 tkm

Tabela D. 5-Inventário do Ecoinvent das entradas do ciclo de vida na fase de produção dos gorros (em acrílico virgem e reciclado).

Entradas	Quantidade	Unidades
Tricotagem:		
Eletricity, medium voltage [PT]| market for| Cut-off,U	16	kWh
Corte Serra:		
Eletricity, medium voltage [PT]| market for| Cut-off,U	0,066	kWh
Acabamentos Finais:		
Eletricity, medium voltage [PT]| market for| Cut-off,U	2,643	kWh
Fibre,polyester [GLO]| market for fibre, polyester| Cut-off, U	0,09	kg
Costura:		
Eletricity, medium voltage [PT]| market for| Cut-off,U	0,5274	kWh
Embalagem:		
Polyethylene, low density, granulate [GLO]|market for|Cut-off, U	0,07	kg

Corrugated board box [RER]|market for corrugated board box|Cut-off, U	0,85	kg

Tabela D. 6-Inventário do Ecoinvent do transporte do produto final.

Entradas	Acrílico Virgem	Acrílico Reciclado
Rodoviário:		
Transport, freight, lorry, unspecified [RER]| transport, freight, lorry, all sizes, EURO5 to generic market for| Cut-off, U	3500 km 28,21 tkm	3500 km 28,21 tkm

Tabela D. 7-Inventário do Ecoinvent das entradas do ciclo de vida na fase de uso,

Entradas	Quantidade	Unidades
Eletricity, medium voltage [SE]| market for| Cut-off,U (1)	432	kWh
Tap water [RER]| market group for | Cut-off, U	27,78	m^3
Ethoxylated alcohol (AE11) [RER]| ethoxylated alcohol (AE11) production, palm oil | Cut-off, U	0,074	kg
Ethoxylated alcohol (AE7) [RER]| ethoxylated alcohol (AE7) production, palm kernel oil | Cut-off, U	0,151	kg
Alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical [RER]| production | Cut-off, U	0,292	kg
Acetic acid, without water, in 98% solution state [RER]| acetic acid production, product in 98% solution state | Cut-off, U	0,194	kg
Layered sodium silicate, SKS-6, powder [RER]| production | Cut-off, U	0,113	kg
Zeolite, powder [RER]| production | Cut-off, U	0,757	kg
Sodium perborate, monohydrate, powder [RER]| production | Cut-off, U	0,327	kg
Sodium perborate, tetrahydrate, powder [RER]| production | Cut-off, U	0,430	kg
Sodium sulfate, anhydrite [RER]| market for | Cut-off, U	0,014	kg
water, completely softened [RER]| water production, completely softened | Cut-off, U	0,532	kg
Sodium percarbonate, powder [RER]| market for sodium percarbonate, powder | Cut-off, U	0,637	kg

Tabela D. 8-Inventário do Ecoinvent das saídas do ciclo de vida na fase de uso.

Saídas (Emissões para a água)	Quantidade	Unidades
BOD5 (Biological Oxygen Demand), SE (1)	7,195	kg
COD (Chemical Oxygen Demand), SE (1)	17,358	kg
Phosphorus, total, SE (1)	0,00005	kg
Nitrogen, total	0,0001	kg
Detergent, oil	0,0008	kg
Ammonia	0,00006	kg
Metals, unspecified	0,012	kg

Tabela D. 9-Inventário do Ecoinvent das saídas do ciclo de vida na fase de fim de vida.

Saídas	Quantidade	Unidades
Inert waste [Europe without Switzerland]| treatment of inert waste, sanitary landfill | Cut-off, U	4,07	kg
Municipal solid waste [SE]| treatment of, incineration | Cut-off, U	1,79	kg

Anexo E: Potência do processo de tratamentos dos resíduos de acrílico

PRODUCCIÓN

PROCESANDO RETALES DE CONFECCIÓN PARA HILATURA

MÁQUINAS	N	PRODUCCION EN KG			
		HORA	DIA	MES	AÑO
CORTADORA	1	3.000			
CARGADOR COMPACTO CON SILO CCS-1500	1	1.500			
DESHILACHADORA DE 5 TAMBORES COMPAK 1500	1	300	2.400	52.800	580.800
PRENSA 60 TM	1	600			

TRABAJANDO:

AL DÍA: 8 Horas AL MES: 22 Días AL AÑO: 11 Meses

RESUMEN DE POTENCIAS			
Uds	MAQUINARIA	INSTALADOS KW	CONSUMIDOS KW/H
2	CORTADORA ROTATIVA CMT-900	50	33
2	TRANSPORTE NEUMÁTICO	22	14
1	CARGADOR CON SILO CCS-1500	3	2
1	DESHILACHADORA COMPAK 1500 DE 5 TAMBORES	282	183
1	CONDENSADOR CO-1500	12,5	8
1	PRENSA CON ACUMULADOR	22	14
	POTENCIA TOTAL (50 Hz)	**392**	**254**

Figura E. 1- Orçamento do processo de tratamento de resíduos (que contém a potência do processo).

Sabendo que o output do processo de tratamento de resíduos e tendo em conta que são necessários 10,12 kg de fio de acrílico para a produção de 50 gorros, calculou-se a potência necessária para o tratamento dessa massa de resíduos de acrílico.

Tabela E. 1-Potência consumida pelo tratamento de resíduos de acrílico para a produção de 50 gorros.

Output	Para 50 gorros	
100 kg/h	10,12 kg	6 min
Potência consumida	25,705	kWh

Anexo F: Energia Gasta Processo de Fiação

Countries	Electrical energy prices, $/kWh	Ring yarn (Combed)		Open-End Yarn	
		Energy consumption, kWh/kg	Energy cost, $/kg	Energy consumption, kWh/kg	Energy cost, $/kg
China	0.066	3.49	0.23	2.58	0.17
India	0.084	3.57	0.30	2.50	0.21
Turkey	0.070	3.57	0.25	2.57	0.18
Brazil	0.031	3.54	0.11	2.58	0.08
S. Korean	0.047	3.62	0.17	2.55	0.12
USA	0.045	3.56	0.16	2.44	0.11
Italy	0.105	3.52	0.37	2.57	0.27

Figura F. 1- Energia gasta no processo de fiação, segundo o artigo "Uma investigação sobre o consumo de energia em Produção de Fios com Referência Especial para a fiação de anéis" [39].

Anexo G: Máquinas utilizadas na produção dos gorros e respetivas potências

Tabela G. 1- Equipamentos utilizados na produção dos gorros e respetivos modelos, potências e energia consumida.

Processo	Máquina	Potência	Tempo	Energia Gasta
Tricotagem	Tear Reto Stoll Jogo 8 Tipo: 600 006 092 Serie:0172	3,2 kW	5 h	16 kWh
Corte Serra	Máquina Corte Serra SCT	1,5-1,75 kW	0,0378 h	0,0661 kWh
Pompons	Máquina fazer pompons Pompom Tex Serie: 0071114	0,35 kW	0,0947 h	0,0332 kWh
Bordados	Máquina bordar Tajima TMAR-K 1206C (450x360) Série A3C02087	3,5 kW	0,7458 h	2,5104 kWH
Costura	Corte e Cose 2 lados Pegasus MX5214-M03	0,720 kW	0,77325 h	0,5274 kWh

Anexo H: Informações do detergente, das emissões para a água derivadas e da energia e água gasta nas lavagens

Ingredient	Initial formulation ([1]) in %	Life cycle inventory considered ([2])	Final formulation in %
AE11-PO	2	Ethoxylated alcohols (AE11), palm oil at plant/RER U	2.1
AE7-pc	4	Ethoxylated alcohols (AE7), palm kernel oil at plant/RER U	4.3
LAS-pc	7.8	Alkylbenzene sulphonate, linear, petrochemical at plant/RER U	8.3
Citric acid	5.2	Acetic acid, 98 % in H2O at plant/RER U	5.5
NA-Silicate powder	3	Layered sodium silicate, SKS-6, powder at plant/RER U	3.2
Zeolite	20.1	Zeolite, powder at plant/RER U	21.5
Sodium carbonate	17	Sodium percarbonate, powder at plant/RER U	18.1
Perborate monohydrate	8.7	Sodium perborate, monohydrate, powder at plant/RER U	9.3
Perborate tetrahydrate	11.5	Sodium perborate, tetrahydrate, powder at plant/RER U	12.2
Antifoam S1,2-3522	0.5	Unavailable	0
FWA DAS-1	0.2	Unavailable	0
Polyacrylate	4	Unavailable	0
Protease	1.4	Unavailable	0
Sodium sulphate	0.4	Sodium sulphate, powder, production mix at plant/RER U	0.4
Water	14.2	Water, completely softened, at plant	15.1
(1) Source: Saouter and van Hof *(2) Source: Ecoinvent v2.0*			

Figura H. 1- Composição típica de detergente em pó europeu.

Flow	Unit	Production	Fabrication	End-of-Life	Packaging
BOD	g	117	4.9	8580	1.59
COD	g	175	10.1	20700	9.01
Total P	g	45.9	-	0.06	0.00
Total N	g	19.1	-	0.12	0.15
Solids	g	56.6	-	-	-
Oil, grease	g	10.2	-	0.91	0.70
Phenol	g	0.17	-	-	-
Ammonia	g	1.09	-	0.07	0.40
Metals	kg	0.1	-	14.2	-
Source: Saouter and van Hoof (2000)					

Figura H. 2- Emissões diretas para a água de 100 kg de detergente.

	Standard case	Real life case
Washing temperature (°C)	60	45.8
Load (kg/cycle)	5.36	3.43
Energy consumption of program selection (kWh/cycle)	0.998	0.72
Water consumption of program selection (l/cycle)	50.7	46.3
Source: Presutto et al. (2007)		

Figura H. 3- Características padrão.

Anexo I: Contribuição relativa do Impacto dos 50 gorros

Tabela I. 1-Impacto de 50 gorros de acrílico virgem e reciclado e a sua contribuição relativa para o valor máximo calculado para cada categoria.

				Contribuição Relativa %	
Categoria de impacto	Unidade	Gorros acrílico reciclado	Gorros acrílico virgem	Gorros acrílico reciclado	Gorros acrílico virgem
GW	kg CO^2 eq	120,725	169,040	71,42	100
SozD	kg CFC11 eq	8,77E-05	9,35E-05	93,76	100
Irad	kBq Co-60 eq	120,712	120,821	99,91	100
OzFHH	kg NOx eq	0,411	0,461	89,1	100
FPMF	kg $PM_{2,5}$ eq	0,178	0,261	68,24	100
OzFTE	kg NOx eq	0,421	0,475	88,64	100
Tac	kg SO_2 eq	0,445	0,570	78,06	100
Feu	kg P eq	0,035	0,043	82,05	100
Meu	kg N eq	0,005	0,035	15,52	100
TEx	kg 1,4-DCB	330,333	386,586	85,45	100
Fex	kg 1,4-DCB	9,082	9,726	93,38	100
Mex	kg 1,4-DCB	11,883	12,773	93,03	100
HCTx	kg 1,4-DCB	20,041	21,253	94,3	100
HnCTx	kg 1,4-DCB	180,634	195,193	92,54	100
LU	m^2a crop eq	7,812	7,975	97,97	100
MRSc	kg Cu eq	0,583	0,677	86,14	100
FRSc	kg oil eq	34,691	57,145	60,71	100
WC	m^3	27,752	29,762	93,25	100

Tabela I. 2-Impacto de 50 gorros de acrílico virgem e reciclado e a sua contribuição relativa para o valor máximo calculado para cada categoria sem considerar a etapa do uso.

				Contribuição Relativa %	
Categoria de impacto	Unidade	Gorros acrílico reciclado	Gorros acrílico virgem	Gorros acrílico reciclado	Gorros acrílico virgem
GW	kg CO^2 eq	90,349	138,664	65,16	100
SozD	kg CFC11 eq	4,77E-05	5,36E-05	89,11	100
Irad	kBq Co-60 eq	4,298	4,406	97,54	100
OzFHH	kg NOx eq	0,337	0,387	87,02	100
FPMF	kg $PM_{2,5}$ eq	0,136	0,219	62,16	100
OzFTE	kg NOx eq	0,345	0,399	86,49	100
Tac	kg SO_2 eq	0,350	0,475	73,65	100
Feu	kg P eq	0,021	0,029	73,23	100
Meu	kg N eq	0,002	0,031	6,02	100
TEx	kg 1,4-DCB	233,082	289,336	80,56	100
Fex	kg 1,4-DCB	5,628	6,272	89,73	100
Mex	kg 1,4-DCB	7,502	8,393	89,39	100
HCTx	kg 1,4-DCB	8,856	10,068	87,97	100
HnCTx	kg 1,4-DCB	128,771	143,330	89,84	100
LU	m^2a crop eq	2,543	2,705	94,01	100
MRSc	kg Cu eq	0,216	0,310	69,71	100

FRSc	kg oil eq	27,903	50,357	55,41	100
WC	m^3	0,340	2,350	14,47	100

Anexo J: Resultados da Análise de Sensibilidade

Tabela J. 2-Resultados da análise de sensibilidade para a alteração da proveniência da origem do fio de acrílico para Espanha.

	Produção	Fim de Vida	T.Matéria-Prima	T.Produto Final	Uso	Fibra Acrílico	Total
GW (kg CO^2eq)	10,995	0,974	1,280	51,543	30,376	71,534	166,702
SozD (kg CFC11 eq)	6,09E-06	9,85E-07	9,50E-07	3,08E-05	3,99E-05	1,51E-05	9,39E-05
Irad (kBq Co-60 eq)	0,593	0,003	0,031	2,332	116,415	4,210	123,584
OzFHH (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,004	0,235	0,074	0,111	0,454
FPMF (kg PM2.5 eq)	0,018	2,09E-04	0,001	0,073	0,042	0,076	0,211
OzFTE (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,004	0,243	0,076	0,115	0,468
Tac (kg SO_2 eq)	0,053	0,001	0,003	0,160	0,095	0,246	0,559
Feu (kg P eq)	0,004	8,11E-05	8,93E-05	0,008	0,014	0,011	0,037
Meu (kg N eq)	0,001	2,06E-05	8,44E-06	0,001	0,003	0,029	0,034
TEx (kg 1,4-DCB)	9,631	0,531	25,344	201,275	97,251	76,532	410,564
Fex (kg 1,4-DCB)	0,290	0,556	0,025	4,055	3,454	1,233	9,613
Mex (kg 1,4-DCB)	0,383	0,729	0,047	5,426	4,380	1,663	12,628
HCTx (kg 1,4-DCB)	0,531	0,076	0,073	6,893	11,185	2,304	21,060
HnCTx (kg 1,4-DCB)	7,456	12,064	0,875	90,313	51,863	28,430	191,003
LU (m^2a crop eq)	0,526	0,014	0,072	1,478	5,269	0,740	8,099
MRSc (kg Cu eq)	0,010	4,55E-04	0,002	0,184	0,367	0,118	0,682
FRSc (kg oil eq)	3,203	0,036	0,446	17,106	6,788	29,070	56,649
WC (m^3)	0,065	0,003	0,002	0,143	27,412	2,111	29,736

Tabela J. 3-Resultados da análise de sensibilidade para a alteração do tipo de detergente utilizado na fase se uso.

	Produção	Fim de Vida	T. Matéria-Prima	T.Produto Final	Uso	Fibra Acrílico	Total
GW (kg CO^2eq)	10,995	0,974	0,109	51,543	30,817	71,534	165,971
SozD (kg CFC11 eq)	6,09E-06	9,85E-07	7,68E-08	3,08E-05	6,05E-05	1,51E-05	1,14E-04
Irad (kBq Co-60 eq)	0,593	0,003	0,001	2,332	115,986	4,210	123,125
OzFHH (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,002	0,235	0,069	0,111	0,447
FPMF (kg PM2.5 eq)	0,018	2,09E-04	0,001	0,073	0,041	0,076	0,208
OzFTE (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,002	0,243	0,071	0,115	0,461
Tac (kg SO_2 eq)	0,053	0,001	0,002	0,160	0,096	0,246	0,558
Feu (kg P eq)	0,004	8,11E-05	4,07E-06	0,008	0,013	0,011	0,035
Meu (kg N eq)	0,001	2,06E-05	4,81E-07	0,001	0,014	0,029	0,045
TEx (kg 1,4-DCB)	9,631	0,531	0,529	201,275	94,329	76,532	382,827
Fex (kg 1,4-DCB)	0,290	0,556	0,001	4,055	3,294	1,233	9,429
Mex (kg 1,4-DCB)	0,383	0,729	0,002	5,426	4,066	1,663	12,269
HCTx (kg 1,4-DCB)	0,531	0,076	0,008	6,893	9,941	2,304	19,751
HnCTx (kg 1,4-DCB)	7,456	12,064	0,023	90,313	46,573	28,430	184,860
LU (m^2a crop eq)	0,526	0,014	0,001	1,478	10,743	0,740	13,502
MRSc (kg Cu eq)	0,010	4,55E-04	1,80E-04	0,184	0,291	0,118	0,603
FRSc (kg oil eq)	3,203	0,036	0,033	17,106	5,148	29,070	54,596
WC (m^3)	0,065	0,003	9,46E-05	0,143	27,642	2,111	29,964

Tabela J. 4-Resultados da análise de sensibilidade para a alteração do meio de transporte do produto final para avião.

	Produção	Fim de Vida	T. Matéria-Prima	T.Produto Final	Uso	Fibra Acrílico	Total
GW (kg CO^2eq)	10,995	0,974	0,109	14,656	30,376	71,534	128,643
SozD (kg CFC11 eq)	6,09E-06	9,85E-07	7,68E-08	3,74E-06	3,99E-05	1,51E-05	6,60E-05
Irad (kBq Co-60 eq)	0,593	0,003	0,001	0,149	116,415	4,210	121,371
OzFHH (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,002	0,067	0,074	0,111	0,283
FPMF (kg PM2.5 eq)	0,018	2,09E-04	0,001	0,014	0,042	0,076	0,151
OzFTE (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,002	0,068	0,076	0,115	0,290
Tac (kg SO_2 eq)	0,053	0,001	0,002	0,042	0,095	0,246	0,439
Feu (kg P eq)	0,004	8,11E-05	4,07E-06	2,26E-04	0,014	0,011	0,029
Meu (kg N eq)	0,001	2,06E-05	4,81E-07	2,15E-05	0,003	0,029	0,034
TEx (kg 1,4-DCB)	9,631	0,531	0,529	24,552	97,251	76,532	209,026
Fex (kg 1,4-DCB)	0,290	0,556	0,001	0,042	3,454	1,233	5,575
Mex (kg 1,4-DCB)	0,383	0,729	0,002	0,072	4,380	1,663	7,229
HCTx (kg 1,4-DCB)	0,531	0,076	0,008	0,126	11,185	2,304	14,229
HnCTx (kg 1,4-DCB)	7,456	12,064	0,023	3,058	51,863	28,430	102,895
LU (m^2a crop eq)	0,526	0,014	0,001	0,032	5,269	0,740	6,582
MRSc (kg Cu eq)	0,010	4,55E-04	1,80E-04	0,004	0,367	0,118	0,499
FRSc (kg oil eq)	3,203	0,036	0,033	4,766	6,788	29,070	43,895
WC (m^3)	0,065	0,003	9,46E-05	0,006	27,412	2,111	29,597

Tabela J. 5-Resultados da análise de sensibilidade para a alteração do meio de transporte do produto final para navio de carga.

	Produção	Fim de Vida	T. Matéria-Prima	T.Produto Final	Uso	Fibra Acrílico	Total
GW (kg CO^2eq)	10,995	0,974	0,109	0,264	30,376	71,534	114,251
SozD (kg CFC11 eq)	6,09E-06	9,85E-07	7,68E-08	1,85E-07	3,99E-05	1,51E-05	6,24E-05
Irad (kBq Co-60 eq)	0,593	0,003	0,001	0,003	116,415	4,210	121,225
OzFHH (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,002	0,006	0,074	0,111	0,222
FPMF (kg PM2.5 eq)	0,018	2,09E-04	0,001	0,002	0,042	0,076	0,138
OzFTE (kg NOx eq)	0,029	0,001	0,002	0,006	0,076	0,115	0,228
Tac (kg SO_2 eq)	0,053	0,001	0,002	0,005	0,095	0,246	0,403
Feu (kg P eq)	0,004	8,11E-05	4,07E-06	8,51E-06	0,014	0,011	0,029
Meu (kg N eq)	0,001	2,06E-05	4,81E-07	1,08E-06	0,003	0,029	0,034
TEx (kg 1,4-DCB)	9,631	0,531	0,529	0,643	97,251	76,532	185,117
Fex (kg 1,4-DCB)	0,290	0,556	0,001	0,002	3,454	1,233	5,536
Mex (kg 1,4-DCB)	0,383	0,729	0,002	0,003	4,380	1,663	7,161
HCTx (kg 1,4-DCB)	0,531	0,076	0,008	0,020	11,185	2,304	14,123
HnCTx (kg 1,4-DCB)	7,456	12,064	0,023	0,036	51,863	28,430	99,873
LU (m^2a crop eq)	0,526	0,014	0,001	0,001	5,269	0,740	6,551
MRSc (kg Cu eq)	0,010	4,55E-04	1,80E-04	4,31E-04	0,367	0,118	0,495
FRSc (kg oil eq)	3,203	0,036	0,033	0,078	6,788	29,070	39,208
WC (m^3)	0,065	0,003	9,46E-05	1,91E-04	27,412	2,111	29,591

Anexo K: Dados do Relatório da Pegada de Carbono do CITEVE

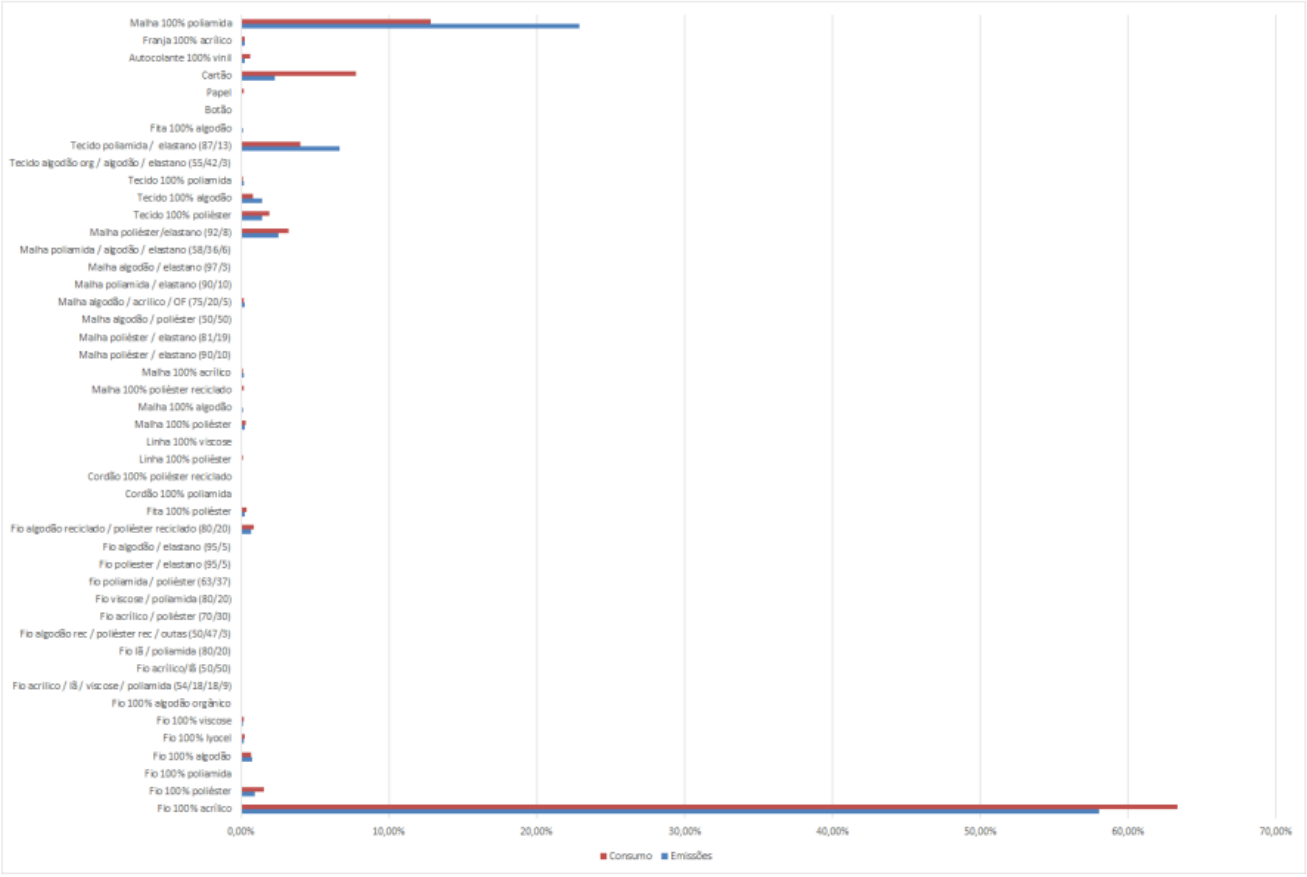


Figura K. 1 - Desagregação das emissões do Âmbito 3 por matéria-prima.

citeve

Centro Tecnológico
das Indústrias Têxtil
e do Vestuário
de Portugal

Determinação da pegada de carbono

Empresa: Forteams Instalação: Vizela
Nº de Obra:2021/675/DTE/Rev0

Dados Necessários para Determinação da Pegada de Carbono:

Para o ano de Ref.: **2019**

- Cópia das faturas mensais de energia elétrica (todas as folhas das faturas) de todos os contratos de todas as instalações;
- Cópia das faturas mensais de outras fontes de energia (gasóleo, gasolina, gás propano, etc.), descriminado por consumidor, ou seja, por frota interna (ex. empilhadores e veículos) ou processo produtivo e carregamento dos veículos elétricos e km percorridos no ano referência;
- Listagem dos equipamentos de ar condicionado instalados, recarregados ou desinstalados no ano de referência, com indicação do local onde estão instalados, gás utilizado, capacidade, quantidade recarregada ou quantidade recuperada no caso dos desinstalados;
- Registo de consumos de produtos químicos e auxiliares, bem como ficha de dados de segurança de cada produto e proveniência dos mesmos;
- Registo de consumos de matérias primas, embalagens, consumíveis de produção e proveniência dos mesmos (localização do distribuidor e do produtor);
- MIRR;
- Cópia das faturas e registo de consumos mensais de água, de todas as instalações;
- Aquisição de bens de investimento, p.ex. equipamentos produtivos, quais e onde foram adquiridos;
- Registo de deslocações em trabalho (que não sejam efetuadas em viaturas da frota da empresa), nº de colaboradores, destinos e período de permanência;
- Listagem com os colaboradores da empresa, local de residência e modo de transporte de e para a empresa;
- Identificação de operações de ativos alugados como locatário, se aplicável;
- Listagem dos produtos produzidos no ano de referência e localização dos distribuidores e clientes finais;
- Cenários da utilização dos produtos (incluindo nº de lavagens por ano e período de uso até descarte), para análise caso a caso;
- Cenários para o fim de vida dos produtos (reutilização, descarte como resíduo), para análise caso a caso;
- Identificação de operação de ativos alugados como locador, se aplicável

FAMALICÃO Quinta da Maia - Rua Fernando Mesquita, 2785 | 4760-034 Vila Nova de Famalicão | Tel.: 252 300 300 | Fax: 252 300 317 | e-mail: citeve@citeve.pt
www.citeve.pt

Pág. 1 de 1

Figura K. 2- Dados necessário para a determinação da pegada de carbono solicitados pelo CITEVE.

Ciclo de Vida de Produtos Têxteis

No decorrer de uma Avaliação do Ciclo de Vida de produtos têxteis de moda e merchandising desportivo, precisamos da sua colaboração com algumas informações sobre os cenários de uso desses produtos e o seu respetivo fim de vida.
As informações fornecidas serão tratadas de forma confidencial e utilizadas apenas para fins de análise.
Para qualquer esclarecimento ou questão adicional poderá contactar-me, através do email: up201704550@up.pt.

*Obrigatório

Gorro de Merchandising Desportivo

1. 1. Alguma vez comprou um gorro de merchandising desportivo? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Avançar para a pergunta 2*
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 8*

Gorro de Merchandising Desportivo

2. 2. Em média, quantas vezes o lava por ano? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ 0
- ◯ 1 a 2
- ◯ > 2
- ◯ > 5
- ◯ Outra: _____

Figura K. 3- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

3. 3. Alguma vez descartou um produto deste tipo? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Avançar para a pergunta 4*
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 6*

Gorro de Merchandising Desportivo

4. 4. Em média, após quantos anos o descartou? *

_____

5. 5. Como o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Reciclou (Contentores de Resíduos Têxteis)
- ◯ Reutilizou (Deu a alguém, vendeu, depositou num contentor de roupa usada, ect)
- ◯ Lixo Doméstico
- ◯ Outra: _____

Avançar para a pergunta 8

Gorro de Merchandising Desportivo

6. 4.Em média, há quantos anos adquiriu o produto? *

_____

Figura K. 4- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

7. 5.Porque não o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Valor Sentimental
- ◯ Valor de Colecionador
- ◯ Não sabia como
- ◯ Ainda se encontra em boas condições
- ◯ Outra: _____

Gorro (dia a dia)

8. 1. Alguma vez comprou um gorro (dia a dia)? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 15*

Gorro (dia a dia)

9. 2. Em média, quantas vezes o lava por ano? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ 0
- ◯ 1 a 2
- ◯ > 2
- ◯ > 5
- ◯ Outra: _____

Figura K. 5- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

10. 3. Alguma vez descartou um produto deste tipo? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Avançar para a pergunta 11*
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 13*

Gorro (dia a dia)

11. 4. Em média, após quantos anos o descartou? *

_____

12. 5. Como o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Reciclou (Contentores de Resíduos Têxteis)
- ◯ Reutilizou (Deu a alguém, vendeu, depositou num contentor de roupa usada, ect)
- ◯ Lixo Doméstico
- ◯ Outra: _____

Avançar para a pergunta 15

Gorro (dia a dia)

13. 4.Em média, há quantos anos adquiriu o produto? *

_____

Figura K. 6- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

14. 5.Porque não o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Valor Sentimental
- ◯ Valor de Colecionador
- ◯ Não sabia como
- ◯ Ainda se encontra em boas condições
- ◯ Outra: _____

Cachecol de Merchandising Desportivo

15. 1. Alguma vez comprou um cachecol de merchandising desportivo? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Avançar para a pergunta 16*
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 22*

Cachecol de Merchandising Desportivo

16. 2. Em média, quantas vezes o lava por ano? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ 0
- ◯ 1 a 2
- ◯ > 2
- ◯ > 5
- ◯ Outra: _____

Figura K. 7- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

17. 3. Alguma vez descartou um produto deste tipo? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 20*

Cachecol de Merchandising Desportivo

18. 4. Em média, após quantos anos o descartou? *

_____

19. 5. Como o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Reciclou (Contentores de Resíduos Têxteis)
- ◯ Reutilizou (Deu a alguém, vendeu, depositou num contentor de roupa usada, ect)
- ◯ Lixo Doméstico
- ◯ Outra: _____

Avançar para a pergunta 22

Cachecol de Merchandising Desportivo

20. 4.Em média, há quantos anos adquiriu o produto? *

_____

Figura K. 8- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

21. 5.Porque não o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Valor Sentimental
- ◯ Valor de Colecionador
- ◯ Não sabia como
- ◯ Ainda se encontra em boas condições
- ◯ Outra: _____

Cachecol (dia a dia)

22. 1. Alguma vez comprou um cachecol (dia a dia)? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim
- ◯ Não *Avançar para a secção 17 (Obrigada pela colaboração.)*

Cachecol (dia a dia)

23. 2. Em média, quantas vezes o lava por ano? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ 0
- ◯ 1 a 2
- ◯ > 2
- ◯ > 5
- ◯ Outra: _____

Figura K. 9- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

24. 3. Alguma vez descartou um produto deste tipo? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Sim *Avançar para a pergunta 25*
- ◯ Não *Avançar para a pergunta 27*

Cachecol (dia a dia)

25. 4. Em média, após quantos anos o descartou? *

_____

26. 5.Como o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Reciclou (Contentores de Resíduos Têxteis)
- ◯ Reutilizou (Deu a alguém, vendeu, depositou num contentor de roupa usada, ect)
- ◯ Lixo Doméstico
- ◯ Outra: _____

Avançar para a secção 17 (Obrigada pela colaboração.)

Cachecol (dia a dia)

27. 4.Em média, há quantos anos adquiriu o produto? *

_____

Figura K. 10- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB

28. 5.Porque não o descartou? *

Marcar apenas uma oval.

- ◯ Valor Sentimental
- ◯ Valor de Colecionador
- ◯ Não sabia como
- ◯ Ainda se encontra em boas condições
- ◯ Outra: _____

Avançar para a secção 17 (Obrigada pela colaboração.)

Obrigada pela colaboração.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pela Google.

Google Formulários

Figura K. 11- Inquérito sobre a utilização e o fim de vida dos produtos da FORteams LAB