
Mestrado Integrado em Engenharia Química

Avaliação de ciclo de vida de uma pele artificial para automóvel

Dissertação de Mestrado

de

Bárbara Cristina Ribeiro Henriques

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

**TMG Automotive - Tecidos Plastificados e Outros Revestimentos para a Indústria
Automóvel, S. A.**



Orientadores na FEUP: Doutora Teresa M. Mata e Doutor António A. Martins

Coordenador na TMG Automotive: Doutora Catarina Dias e Engenheiro André Pereira



Departamento de Engenharia Química

julho de 2019

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer aos meus orientadores na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Doutora Teresa Mata e Doutor António Martins, por todo o apoio prestado e conhecimento partilhado, durante a realização desta dissertação, tendo sido ambos os responsáveis pelo avanço positivo deste projeto. A Doutora Teresa Margarida Correia de Poço Mata e o Doutor António Augusto Areosa Martins, orientadores desta dissertação, são membros integrados do LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado pela Unidade de Investigação UID/EQU/00511/2019 - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE - financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Pretendo também agradecer à Engenheira Elizabete Pinho, diretora do departamento de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da TMG Automotive, pela oportunidade de realizar o estágio na empresa.

À Doutora Catarina Dias, minha orientadora na TMG Automotive, por toda a ajuda, compreensão, ensinamento e dedicação durante todo o percurso do meu trabalho. De igual modo, quero agradecer ao Engenheiro André Pereira por todo o acompanhamento, disponibilidade, dedicação e conhecimento transmitido ao longo desta caminhada. Ambos contribuíram para o desfecho positivo da dissertação.

À D^a. Julieta, Engenheiro João Mota, Doutor Filipe Ribeiro, D^a. Fátima, Engenheiro Rui Rocha, Engenheiro Hugo Cunha, Mestre Edgar Santos, Vera e Mestre Ricardo Carvalho a muitos mais funcionários da TMG Automotive pela, simpatia, ajuda, atenção e conhecimento partilhado, em específico sobre malhas têxteis e poliuretanos, durante o meu estágio na empresa.

À minha colega Beatriz Sampaio, Mestre Francisca Coelho, Engenheiro Bruno Diogo, Engenheira Ana Bezerra e Engenheira Filipa Miranda por toda a companhia, conselhos, ajuda e principalmente pela amizade desenvolvida ao longo destes 5 meses de estágio na empresa.

Aos meus amigos Inês Guimarães, Carolina Barros, Marta Mendes, Bárbara Lima, Sofia Aguiar, Marta Pereira, Maria Neto, Carolina Teixeira, Vítor Hugo, João Silva, Carla Filipa e Daniela Morence por todo o apoio, amizade e paciência ao longo destes 5 anos e principalmente no decorrer desta última etapa.

Aos meus pais, Cristina Ribeiro e Adelino Henriques, um especial obrigada pela dedicação, carinho, compreensão e por terem sido uns pais super presentes em todo o meu percurso académico e em todas as etapas da minha vida. Um grande obrigada por tudo!

A todos um sincero obrigada, sem vocês não seria possível!

Resumo

A presente dissertação foi desenvolvida na empresa TMG Automotive no departamento de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (IDI). O projeto desenvolvido teve como objetivo estudar o ciclo de vida da malha têxtil usada como suporte para revestimentos flexíveis para o interior do automóvel, com base na metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida, ACV, com o intuito de determinar os impactos ambientais mais relevantes e propor soluções para os mitigar. Assim, numa primeira fase, o estudo de ACV focou-se em três produtos da TMG Automotive: de base PVC, TPU e PVU (material híbrido à base de PVC e TPU). Os dados foram obtidos na medida do possível da prática industrial complementados com dados da literatura e de bases de dados de inventário. Os resultados revelaram que o produto à base de PVC apresenta um maior contributo para os impactos ambientais nas categorias de Potencial de Acidificação e Toxicidade Humana em comparação com os produtos de base PVU e TPU, principalmente devido à maior percentagem de resina de PVC usada. Por outro lado, o produto à base de PVU apresenta o maior impacto ambiental na categoria de Potencial de Eutrofização devido ao maior consumo de energia durante o processo de extrusão do TPU que o constitui. O produto à base de TPU apresenta os maiores impactos ambientais nas categorias de Aquecimento Global 100a, Oxidação Fotoquímica e Ecotoxicidade Terrestre, devido à sua malha têxtil ser 100 % poliéster, sendo as outras malhas têxteis constituídas por 35 % algodão e 65 % poliéster.

Uma vez que a malha têxtil é o componente que mais contribui para os impactos ambientais em todas as categorias de impacto à exceção da Toxicidade Humana no caso do produto à base de PVC, numa segunda fase estudaram-se as seguintes alternativas à composição da malha têxtil: algodão, poliéster virgem, algodão orgânico e poliéster reciclado. Os resultados revelaram que a malha têxtil 100 % poliéster reciclado apresenta os menores valores em todas as categorias de impacto estudadas (Aquecimento Global 100a, Potencial de Acidificação e Potencial de Eutrofização). Em contrapartida a malha têxtil 100 % poliéster apresenta os maiores impactos nas categorias de Aquecimento Global 100a e Potencial de Acidificação, sendo a malha têxtil 100 % algodão a que apresenta o maior impacto ambiental na categoria de Potencial de Eutrofização. Sendo o produto à base de PVC o produto com maior volume de vendas da empresa, numa terceira fase realizou-se o estudo comparativo entre o produto à base de PVC da TMG Automotive e o produto à base de PVC com as seguintes variantes de malha têxtil: malha têxtil 100 % poliéster reciclado, malha têxtil com menores impactos ambientais, e malha têxtil 35 % algodão e 65 % poliéster reciclado. Para o à base de PVC com malha têxtil 100 % poliéster reciclado verifica-se uma diminuição em 7 % na categoria de Aquecimento Global 100a, 12 % no Potencial de Acidificação e 18 % no Potencial de Eutrofização. Para o produto à de PVC com malha têxtil 35 % algodão 65 % poliéster reciclado ocorre uma diminuição

em 7 % na categoria de Aquecimento Global 100a, 8 % no Potencial de Acidificação e 2 % no Potencial de Eutrofização.

Palavras Chave: avaliação de ciclo de vida, malha têxtil, impactes ambientais, algodão, poliéster

Abstract

The present dissertation was developed at TMG Automotive in the Department of Research, Development and Innovation (RDI). The aim of this project was to apply the Life Cycle Assessment methodology, LCA, to TMG Automotive main products. The main focus was to analyse the knit fabric used as support for flexible coatings for the automotive interiors, in order to evaluate the most relevant environmental impacts and to propose solutions to mitigate them.

Therefore, at a first stage it was performed a LCA study of three products of TMG Automotive: PVC based, TPU based and PVU (hybrid material of PVC and TPU). Data was obtained mainly from industrial practice complemented with the literature and life cycle inventory databases. Results reveal that PVC based product has higher contribution to the environmental impact categories of Acidification Potential and Human Toxicity compared to PVU and TPU based product because it presents a higher amount of PVC resin in its composition. The PVU product has the highest contribution to the Eutrophication Potential category due to the higher energy consumption during the extrusion process. The TPU based product has the greatest contribution to the Global Warming 100a category, Photochemical Oxidation and Terrestrial Ecotoxicity due to its 100 % polyester knit fabric, the others being 35 % cotton and 65 % polyester.

Since the knit fabric is the major contributor to environmental impacts in all impact categories except for Human Toxicity in the PVC based product, the following alternatives to knit fabric composition were studied: cotton, virgin polyester, organic cotton and recycled polyester. The 100 % recycled polyester knit fabric showed the smallest values in all impact categories studied (Global Warming 100a, Acidification Potential and Eutrophication Potential). On the other hand, the 100 % polyester knit fabric showed the greatest impacts in the categories of Global Warming 100a and Acidification Potential, with 100 % cotton knitted fabric having the greatest environmental impact in the category of Eutrophication Potential.

Since PVC based product is the company product with the largest sales volume, on a third phase a comparative study was carried out between TMG Automotive PVC current material with a PVC with an 100 % recycled polyester knit fabric, corresponding to the knit fabric with the lowest environmental impacts, and PVC with 35 % cotton and 65 % recycled polyester knit fabric. For PVC based material with 100 % recycled polyester knit fabric, there is a 7 % decrease in the Global Warming 100a category, 12 % in the Acidification Potential and 18 % in the Eutrophication Potential. For PVC based product with 35 % cotton and 65 % recycled polyester knit fabric there is a decrease of 7% in the Global Warming 100a category, 8 % in the Acidification Potential and 2 % in the Eutrophication Potential.

Keywords: life cycle assessment, knit fabrics, environmental impacts, cotton, polyester

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Assinar e datar

Bárbara Henriques

1 de julho de 2019

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	4
1.3	Contributos do Trabalho.....	4
1.4	Organização da Tese	5
2	Contexto e Estado da Arte	6
2.1	ACV aplicada a pele artificial para o interior dos automóveis.....	6
2.2	Processo TMG Automotive e Influência do têxtil nos seus produtos	7
2.3	Têxtil para o interior do automóvel.....	8
2.4	Fibras.....	10
2.4.1	Fiação de Fibras Descontínuas - Algodão	11
2.4.2	Fiação de Fibras Contínuas	13
2.5	Trabalho de Malha	13
2.6	Fibras de Poliéster.....	14
2.6.1	Produção de PET	15
2.6.2	Produção de Fibras PET	15
2.6.3	Estrutura e Propriedades da Fibra de PET.....	15
2.6.4	Aplicações das Fibras de PET	16
2.7	Reciclagem de PET.....	16
2.8	Algodão Orgânico.....	17
2.8.1	Regras para a cultura orgânica do algodão em comparação com o convencional.....	17
3	Materiais e Métodos	19
3.1	Metodologia Análise de Ciclo de Vida - ACV.....	19
3.2	Definição do âmbito, objetivos e unidade funcional.....	20
3.2.1	Definição do âmbito e objetivos	20
3.2.2	Definição do Sistema	20
3.2.3	Unidade Funcional	21

3.2.4	Enquadramento tecnológico, regional e temporal	21
3.2.5	CrITÉrios de Exclusão e Inclusão de Entradas e Saídas	22
3.3	Análise do Inventário e fontes de dados.....	22
3.3.1	Consumo de matérias-primas	23
3.3.2	Consumo Energético	26
3.3.3	Emissões atmosféricas das instalações da TMG Automotive.....	27
3.3.4	Tratamento de resíduos.....	27
3.3.5	Transportes	27
3.4	Categorias de impacto ambiental e Método de Cálculo.....	28
3.4.1	Potencial de Aquecimento Global (AG 100a).....	29
3.4.2	Potencial de Acidificação (PA).....	29
3.4.3	Potencial de Eutrofização (PE)	29
3.4.4	Potencial de Formação de Oxidantes Fotoquímicos (OF)	30
3.4.5	Potencial de Toxicidade Humana (TH)	30
3.4.6	Potencial de Ecotoxicidade (ET e EAD)	30
3.5	Software usado.....	30
4	Resultados e Discussão.....	31
4.1	Resultados da Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida (AICV).....	31
4.1.1	AG 100a	35
4.1.2	TH.....	35
4.1.3	PA.....	36
4.1.4	PE	36
4.1.5	OF	36
4.1.6	ET e EAD	37
4.2	Comparação entre composições na malha têxtil dos produtos.....	37
5	Conclusões	43
6	Avaliação do trabalho realizado.....	45
6.1	Objetivos Realizados	45
6.2	Outros Trabalhos Realizados.....	45
6.3	Apreciação Final	45

6.3.1 Limitações e Trabalhos Futuros	45
7 Referências	47
Anexo A - Dados para o cálculo dos Indicadores de Sustentabilidade	51
Anexo B - Resultados de AICV dos produtos da TMG Automotive.....	52
Anexo C - Questionário para os Fornecedores da TMG Automotive.....	53

Índice de Figuras

<i>Figura 1- Composição típica de tecidos plastificados.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 - Processo de fabrico do produto de PVC da TMG Automotive [16].....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3 - Processo de extrusão do produto de TPU da TMG Automotive [17].....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 4- Cadeia de Fornecimento dos materiais têxteis para automóveis [18].....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5-Fiação em Anel.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6- Fiação por Rotor</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7- Trama e Teia</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8 - Produção de filamentos PET por melt-spun [19].....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 9- Estrutura química do PET</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10- Fases de uma ACV.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11 - Definição das fronteiras do sistema de ACV</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12 - Diagrama processual do fabrico dos produtos de PVC, PVU e TPU.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13 - Comparação dos produtos à base de PVU e TPU em relação ao produto à base de PVC</i>	<i>32</i>
<i>Figura 14- Contribuição dos componentes do processo de produção do produto à base de PVC nas diferentes categorias de impacte ambiental.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 15- Contribuição do processo de produção do produto de PVU nas diferentes categorias de impacte.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 16- Contribuição dos componentes do processo de produção do produto TPU nas diferentes categorias de impacte ambiental.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 17- Comparação do produto à base de PVC com malha 100 % PET reciclado e mistura 35 % algodão 65 % PET reciclado em relação ao produto de PVC da TMG Automotive.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 18 - Informações Gerais do Questionário aos Fornecedores da TMG Automotive.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 19- Informações Gerais a preencher pelos Fornecedores da TMG Automotive</i>	<i>53</i>
<i>Figura 20- Descrição do Produto a preencher pelos fornecedores da TMG Automotive</i>	<i>54</i>

<i>Figura 21 - Informações a preencher por Fornecedores de malha têxtil da TMG Automotive</i>	<i>55</i>
<i>Figura 22- Questionário a preencher pelo Fornecedores da TMG Automotive caso já tenha realizado ACV.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 23 - Performance ambiental a preencher pelos Fornecedores da TMG Automotive.....</i>	<i>57</i>

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1-Comparação do cultivo do algodão convencional e o algodão orgânico [26].</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2 - Impactes ambientais para a produção de fibras de PET virgem determinado pelo departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht [23]</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 3 - Impactes ambientais para a produção de fibras de algodão determinado pela Cotton Incorporated [36]</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 4 - Impactes ambientais para a produção de têxtil de algodão determinado pela Cotton Incorporated [36].</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5 - Consumos globais de energia elétrica e térmica da TMG Automotive para o ano de 2017 [5]</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 6 - Unidades em fator de equivalência das categorias de impacto do CML 2001.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 7 - Impactes ambientais para a produção de fibras de algodão orgânico determinado pela Textile Exchange [26].....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 8 - Impactes ambientais para a produção de fibras de PET reciclado mecanicamente determinado pelo departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht [23].....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 9 - Variação dos valores de impacto em função da composição da malha têxtil</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 10- Dados para o cálculo dos indicadores de Sustentabilidade</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 11 - Resultados de AICV para os produtos de PVC, PVU e TPU da TMG Automotive</i>	<i>52</i>

Notação e Glossário

Lista de Siglas

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AFIA	Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel
AG	Aquecimento Global
AICV	Avaliação do Inventário de Ciclo de Vida
BHET	Tereftalato de bis (2-hidroxietileno)
COV's	Compostos orgânicos voláteis
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COVNM	Compostos orgânicos voláteis não metânicos
DA	Depleção Abiótica
DAP	Declaração Ambiental de Produto
DB	Diclorobenzeno
DGT	Tereftalato de dietilenoglicol
DMT	Tereftalato de dimetilo
EAD	Ecotoxicidade de águas doces
ET	Ecotoxicidade terrestre
IDI	Investigação, Desenvolvimento e Inovação
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
LCD	<i>Display</i> de cristal líquido
MEG	Monoetilenoglicol
NO _x	Óxidos de Azoto
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OF	Oxidação Fotoquímica
PA	Potencial de Acidificação
PCR	Regras de Categoria de Produto
PE	Potencial de Eutrofização
PES	Poliéster
PET	Polietileno tereftalato
PETRA	<i>PET Resin Association</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PTA	Ácido tereftálico
PVC	Policloreto de vinilo
RTO	<i>Regenerative Thermal Oxidizer</i>
SO ₂	Dióxido de enxofre
TH inf	Toxicidade Humana infinito
TPE	Elastómero termoplástico
TPU	Poliuretano termoplástico
VCM	Monómero de cloreto de vinila

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Nos últimos anos, as questões ambientais assumiram uma prioridade crescente tanto para o governo como para a indústria. Vários regulamentos que abordam questões ambientais associadas ao ciclo de vida dos produtos [1] foram implementados de forma progressiva.

A sustentabilidade ambiental é encarada pelo setor automóvel, como um objetivo crítico, materializado na redução das emissões de carbono, no aumento do uso de matérias-primas de fontes renováveis, com menor intensidade energética, no uso de materiais recicláveis em componentes automóveis [2].

Empresas como a TMG Automotive encontram-se sujeitas a pressões por parte das *Original Equipment Manufacturers* (OEMs) para desenvolver novos produtos com impacto ambiental reduzido ao longo do seu ciclo de vida [3]. Pressões governamentais, como a legislação das Alterações Climáticas e a crescente consciencialização ambiental das empresas e dos clientes finais, fazem com que as empresas sejam obrigadas a medir e a reportar os seus impactos ambientais. Gestão de risco, atração de novos clientes, proteção da imagem e reputação da empresa fazem parte dos motivos pelos quais empresas como a TMG Automotive adotam uma estratégia de negócio sustentável. “*Aliar os direitos humanos ao crescimento económico sustentável e à proteção ambiental é crucial para o futuro da TMG Automotive*”, garante a CEO da empresa Isabel Furtado [4].

São necessárias ferramentas para avaliar, de modo objetivo e científico, os potenciais impactos ambientais dos produtos. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), cuja metodologia é padronizada a nível internacional pela ISO 14040, pertence a esta categoria de ferramentas.

A ACV, segundo a referência normativa, deve procurar sempre realizar o inventário do ciclo de vida priorizando os materiais ou processos que podem contribuir para a maioria dos impactos ambientais.

A ACV é também vista como uma ferramenta de apoio à decisão, permitindo compilar a informação acerca dos fluxos energéticos e de materiais onde é possível estimar e analisar os potenciais impactos ambientais de forma replicável e sistemática.

Como referido, a TMG Automotive, encontra-se continuamente sujeita a um mercado muito exigente no que diz respeito à sustentabilidade e ao ambiente. Com o intuito dos seus produtos se diferenciarem positivamente, reforçando assim a competitividade nas cadeias de fornecimento globais do setor automóvel, a TMG identificou a necessidade de:

- Aplicar a ACV a 3 dos seus produtos e avaliar os principais impactos ambientais;

- Sendo o têxtil a matéria-prima com impactes mais significativos, realizar análise mais detalhada ao têxtil, a fim de determinar os impactes ambientais mais relevantes e propor soluções para os mitigar. Sendo o têxtil comprado a terceiros, pretende-se formular um modelo para recolha da informação necessária para contabilizar os consumos de materiais e energia, assim como as emissões do processo, numa perspetiva *cradle-to-gate*. Os resultados permitirão identificar pontos críticos ou aspetos que possam ser melhorados no processo de produção e comparar o impacto da utilização de matérias-primas alternativas, tais como malha reciclada e algodão orgânico;
- De forma a obter informação mais rigorosa e mais detalhada pretende-se elaborar um questionário que permita obter informação dos fornecedores.

Realizou-se um estudo preliminar de ACV [5], às linhas de produtos à base de PVC, policloreto de vinilo, a linha de produtos à base de PVU, material híbrido de poliuretano e policloreto de vinilo e a linha de produtos à base de TPU, poliuretano termoplástico, uma vez que são considerados prioritários devido ao volume de produção. Este estudo permitiu à TMG familiarizar-se com a ferramenta ACV e avaliar a origem dos maiores impactes ambientais. Os produtos estudados são constituídos por múltiplas camadas, incluindo um suporte têxtil e são obtidos através de diferentes processos, em particular, o recobrimento em pasta e a extrusão de fiação vertical.

Os produtos flexíveis à base de PVC tratam-se de compósitos de PVC, alternativos à pele natural. O produto desenvolvido é composto por múltiplas camadas: PVC compacto, seguido de uma camada de espuma de PVC, uma camada adesiva de PVC e um suporte têxtil (malha). Os produtos podem diferir, por exemplo, pela presença da malha têxtil e pela espessura da camada de espuma, dependendo da aplicação final. Neste estudo, considerou-se a presença da malha têxtil como suporte, uma vez que é o foco principal deste projeto.

O produto de PVU trata-se de um material híbrido à base de TPU e PVC. Este produto difere do produto à base de PVC, uma vez que a camada superior à camada de PVC compacto é composta por TPU. Este material apresenta elevada resistência à migração de plastificante da camada de PVC o que lhe confere excelente comportamento a baixas temperaturas e durabilidade na utilização.

Através do referido estudo preliminar, verificou-se que a malha têxtil é o componente que apresenta o maior contributo para os impactes ambientais, em particular para as alterações climáticas e formação de partículas atmosféricas em todos os produtos estudados. Por este motivo, o presente trabalho teve como objetivo aprofundar o estudo de ciclo de vida da malha

têxtil e determinar de que forma se pode minimizar o impacte ambiental associado ao suporte têxtil.

A presente dissertação tem como intuito aprofundar e dar continuidade ao referido estudo preliminar de ACV, desenvolvendo um estudo mais robusto, considerando que a malha têxtil é constituída por 65 % de poliéster e 35 % de algodão. Pretendeu-se também analisar outras alternativas de matérias-primas que podem ser utilizadas para o fabrico da malha e compará-las entre si por forma a propor soluções com menores impactes ambientais.

Uma vez que este estudo se baseia na metodologia de ACV, foram consideradas as seguintes etapas para o seu desenvolvimento:

1ª Etapa - Definição metodológica inicial de ACV a utilizar na avaliação, bem como os critérios a observar nas várias fases de ACV.

2ª Etapa - Compilação detalhada das entradas e saídas, Inventário de Ciclo de Vida Tecnológico, dos processos unitários associados ao sistema em análise, e de matérias-primas não produzidas pela TMG Automotive, como é o caso das fibras e posteriormente a malha.

3ª Etapa - Avaliação dos impactes ambientais dos sistemas em avaliação, com base nos dados compilados no inventário e com base em metodologias tipificadas e desenvolvidas por entidades reconhecidas, que permitem traduzir dados de inventários em categorias de impactes ambientais.

4ª Etapa - Interpretação de resultados fazendo um controlo de integralidade e de coerência ao modelo de ACV. Será desenvolvida uma análise de sensibilidade e de incerteza, de forma a garantir a robustez científica dos resultados obtidos.

Desta forma, pretende-se comparar diferentes composições de matérias-primas na malha têxtil com o mesmo tipo de ponto (*jersey*). O estudo consiste na comparação de malhas têxteis 100 % algodão, 100 % poliéster, 100 % algodão orgânico, 100 % poliéster reciclado e mistura entre as composições referidas. Sendo assim, será possível aprofundar e melhorar o estudo preliminar feito previamente pela empresa.

Numa primeira fase, foi feita uma revisão bibliográfica, com o intuito de perceber a metodologia ACV, bem como recolher dados acerca de fibras de algodão, poliéster, poliéster reciclado e algodão orgânico. Numa 2ª fase, contactaram-se os fornecedores de malhas com o intuito de recolher os dados necessários para a realização, o mais robusta possível, da ACV. Numa 3ª fase, recorreu-se à literatura para recolher dados sobre produção de fibras e malha têxtil, uma vez que a informação dos fornecedores não era detalhada o suficiente. Numa 4ª fase, realizou-se o estudo de ACV com os dados recolhidos e posteriormente analisaram-se os resultados obtidos, percebendo-se assim, o elemento presente nos produtos à base de PVC, PVU

e TPU com maior impacto ambiental. Por último, foi possível fazer uma comparação entre malhas têxteis constituídas por diferentes matérias-primas.

1.2 Apresentação da Empresa

A TMG Automotive, fundada em 1937 por Manuel Gonçalves, é integrante do grupo Têxtil Manuel Gonçalves SA, designada por Fábrica de Fiação e Tecidos de S. Cosme do Vale, Famalicão. Em 1965, foi transformada em Sociedade Anónima e anos mais tarde em 2006 ocorre uma reestruturação da empresa, em áreas independentes de negócio, designadas por TMG Automotive, TMG Energy, TMG Retail e TMG Textile.

Atualmente, a TMG é detentora de participações na SPE (Sociedade de produção de energia elétrica e calor), HeliPortugal, Caves Transmontana, EFACEC e Lightning Bolt.

Atualmente é membro da *UN Global Compact*, sendo esta uma iniciativa proposta pela Organização das Nações Unidas para encorajar empresas a adotar políticas de responsabilidade social e sustentabilidade.

A área de negócio da TMG Automotive, conta com a produção de tecidos plastificados flexíveis para revestimentos de vários componentes da linha automóvel como painéis de portas, painéis de instrumentos, apoios de braços, assentos, coberturas de caixas de mudanças de travão de mão, entre outros. As suas matérias-primas base são o PVC, o TPE, elastómero termoplástico e o PU, poliuretano. As folhas flexíveis de PVC representam o principal volume de vendas.

Os clientes da empresa que produzem a peça final são denominados por *First-Tiers* e são responsáveis por, posteriormente, vender as peças às grandes produtoras de automóveis, também designadas por OEM, como a Daimler, BMW, Ford, Toyota, entre outras. Assim, a TMG Automotive é considerada *Second-Tier*, em termos de hierarquia de produção de peças automóveis.

A presença da TMG Automotive no mercado automóvel, suportada por evolução tecnológica, inovação e crescimento sustentado realça a filosofia do seu Fundador - “*Tecnologia e Qualidade de mãos dadas*”. Hoje em dia, a TMG Automotive é o segundo maior fornecedor europeu deste tipo de materiais, apta para apresentar soluções globais de materiais para interiores de automóveis.

1.3 Contributos do Trabalho

Com o desenvolvimento deste projeto de tese em ambiente empresarial na empresa TMG Automotive, pretende-se contribuir para a implementação generalizada da ACV na atividade da empresa, desde a conceção à produção, formulando um modelo para recolha da

informação necessária para contabilizar os consumos de materiais e energia, assim como as emissões do processo, numa perspetiva *cradle-to-gate*.

Foram desenvolvidos inventários de ciclo de vida e realizou-se posteriormente a simulação em OpenLCA de produtos da TMG Automotive - PVC, PVU e TPU - com base em informação obtida na TMG Automotive e dados de malhas têxteis encontrados na literatura, a nível de consumo de matérias-primas, consumo de energia, emissões do processo e tratamento de resíduos.

Desenvolveu-se uma análise de sensibilidade, considerando que a composição da malha seria 100 % poliéster reciclado, 100 % algodão orgânico e mistura de ambas as matérias-primas, permitindo assim à TMG Automotive, ter uma maior perspetiva do que poderá diminuir os impactes ambientais dos seus produtos.

Neste trabalho, foi também, desenvolvido um questionário, presente no Anexo C, para posterior implementação na empresa, de maneira a permitir obter informação mais detalhada e rigorosa dos fornecedores, nomeadamente das matérias-primas, relevantes para o estudo de ACV.

Em última análise, este projeto procurou ser um passo em frente na implementação de uma abordagem sistemática de otimização do desempenho ambiental que permita a diferenciação dos produtos desenvolvidos pela TMG Automotive nas competitivas cadeias de fornecimento do setor automóvel.

1.4 Organização da Tese

A presente dissertação encontra-se organizada nos 5 capítulos, a seguir descritos:

- 1. Introdução - Faz-se uma apresentação do projeto e enquadramento face ao problema proposto pela empresa. É feita também uma breve apresentação da empresa.
- 2. Estado da Arte - É descrito o estado da arte no que diz respeito a têxteis automóveis, fibras, trabalho de malha, fibras de polietileno tereftalato e fibras de algodão orgânico
- 3. Materiais e Métodos - São apresentados todos os materiais e métodos, usados ao longo do projeto.
- 4. Resultados e Discussão - Apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos.
- 5. Conclusões - São apresentadas as conclusões e resultados mais relevantes do projeto, assim como sugestões para trabalho futuro.

2 Contexto e Estado da Arte

A indústria automóvel é a maior consumidora de têxteis técnicos, com cerca de 20 kg por cada um dos cerca de 45 milhões de carros fabricados anualmente em todo o mundo [3]. Em Portugal, o setor automóvel representa 24 mil milhões de euros, ou seja 15 % do PIB em 2015, sendo a produção de veículos e dos seus componentes uma das principais fontes de exportação [6]. Segundo a AFIA - Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel, em 2015, o setor de produção de componentes automóveis exportou cerca de 84 % da sua produção, sendo que, entre 2007 e 2015 as exportações aumentaram 20 %.

Em termos de localização, em Portugal, a maior parte das empresas deste setor encontram-se no norte do país, essencialmente nos distritos de Braga, Porto e Aveiro. A sua principal atração ao norte do país deve-se ao baixo custo, tanto de mão-de-obra como de terreno para a implantação da fábrica, para além de uma maior proximidade a grandes fábricas de automóveis como a da *Renault* e o *Grupo PSA*, que representa marcas como a *Citroën*, *Peugeot* e *Chrysler Europe* [7].

2.1 ACV aplicada a pele artificial para o interior dos automóveis

Devido à crescente preocupação com a redução dos impactes ambientais originados pela indústria automóvel, vários estudos de ACV têm vindo a ser desenvolvidos nesse setor industrial [8]. A metodologia de ACV aplicada à indústria automóvel apresenta diversos desafios, em particular a diversidade de materiais que podem ser utilizados como matérias-primas, as técnicas de processamento desses materiais, o tempo de uso dos automóveis, e as diferentes formas de disposição final dos materiais após o seu uso, e o tempo necessário para realizar estudos de ACV. No entanto, a aplicação da metodologia de ACV permite identificar não só o percurso real de um determinado material utilizado num automóvel durante todo o seu ciclo de vida como também possibilita estudar a degradação desse material durante a fase de uso e o seu destino final de vida, quantificando os impactes ambientais do automóvel durante o seu ciclo de vida [9]. No entanto, a ACV é um método que exige uma extensa quantidade de dados de inventário de diversas fontes, em particular fornecedores, o que pode limitar a sua aplicabilidade.

As novas tendências da indústria automóvel passam por produzir automóveis com menor impacto ambiental e não somente pela melhoria da eficiência no consumo de combustível do automóvel, passando também pela utilização de novas formas de energia (ex: baterias) e/ou utilização de materiais com menor impacto ambiental ou mesmo reciclados [9]. Dependendo do objetivo do estudo, a ACV pode encontrar-se focada unicamente num componente e/ou matéria-prima específica ou fase de ciclo de vida do automóvel. Atualmente, estudos de ACV

acerca de têxteis aplicados a automóveis, principalmente tecidos plastificados, são bastante escassos. Um exemplo é um estudo de ACV para avaliar os impactos ambientais resultantes da utilização de compósitos de fibra de juta (fibra têxtil de origem vegetal) no fabrico de caixas de velocidades de um automóvel. Para isso, compararam estes impactos com os resultantes da utilização do material utilizado normalmente que são os compósitos de fibra de vidro plástico reforçado [10], mostrando que os novos materiais possuem menores impactos ambientais.

No entanto, a existência de declarações ambientais de produto (DAP), desenvolvidas de acordo com a norma EN ISO 14025 [11] para o sector automóvel demonstra que a situação atual está a mudar. Em particular OEMs como a *Audi* [12] e a *Toyota* [13] já desenvolveram DAPs para modelos de automóveis específicos. A *Dinamica*, empresa de têxteis para automóveis publicou em 2016 uma DAP sobre microfibras de poliéster reciclado [14], existindo já Regras de Categoria de Produto (PCR) específicas para têxteis automóveis [15].

2.2 Processo TMG Automotive e Influência do têxtil nos seus produtos

A TMG Automotive produz tecidos plastificados flexíveis para revestimentos do interior automóvel. A maioria dos produtos desenvolvidos possuem uma camada polimérica revestida com laca e uma camada de avesso, designada por malha têxtil, como se verifica na Figura 1. Os processos de acabamento dos produtos consistem na adição de laca e gravação do composto polimérico laminado.

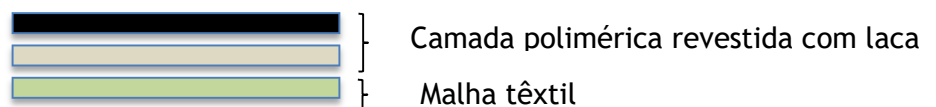


Figura 1- Composição típica de tecidos plastificados

Os produtos à base de PVC e de PVU são obtidos por dois processos diferentes. O produto à base de PVC é aplicado por recobrimento em pasta, que consiste na aplicação das pastas de PVC sobre um suporte de papel siliconado, num equipamento constituído por 3 cabeças de aplicação de pasta com as respetivas estufas onde ocorre a sua gelificação e fusão, como se verifica na Figura 2, transformando as pastas em filmes plásticos por ação de elevadas temperaturas. A última camada de pasta de PVC serve de adesivo para a aplicação da malha têxtil que é aplicado nesta etapa. No final do processo de recobrimento o suporte de papel é separado do tecido plastificado e reutilizado.

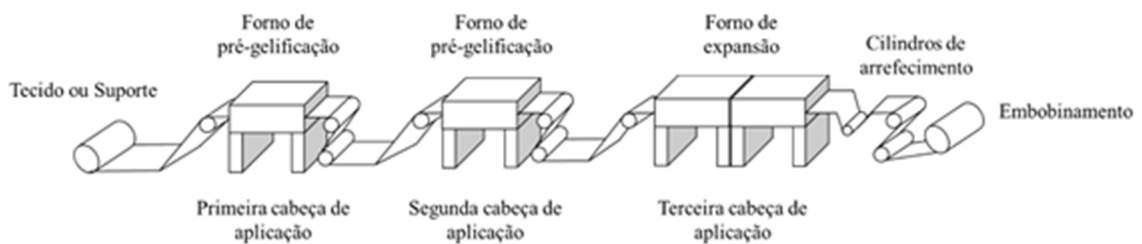


Figura 2 - Processo de fabrico do produto de PVC da TMG Automotive [16]

O produto à base de TPU é processado através da extrusão de fieira vertical, que consiste na transformação dos grânulos numa massa fundida por aquecimento formando uma folha plástica ao passar pela fieira, como se verifica pela Figura 3. A folha plástica é posteriormente calandrada por rolos de acordo com a espessura pretendida.

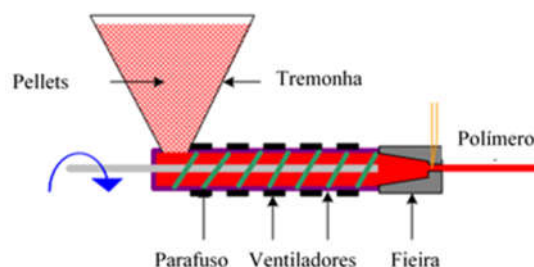


Figura 3 - Processo de extrusão do produto de TPU da TMG Automotive [17]

O produto de PVU, como foi referido anteriormente, é um material híbrido, que resulta da junção entre um material de base PVC e TPU.

Segue-se a operação de lacagem que se caracteriza por aplicação de várias camadas de laca na face ou no avesso de forma a aumentar a durabilidade do material, nomeadamente resistência à abrasão e ao risco, resistência à radiação UV, resistência a agentes químicos e ajustar as características estéticas dos materiais. Posteriormente, o artigo passa pela etapa de gravação, que consiste num processo mecânico de modificação da textura da superfície do material por ação de calor e pressão.

A malha têxtil nos tecidos plastificados da TMG Automotive tem como principal função garantir características mecânicas como o alongamento, facilitar o processo de corte e costura dos produtos finais, garantir espessura e resistência dos produtos e facilitar os processos de acabamento dos produtos.

2.3 Têxtil para o interior do automóvel

Os avanços dos materiais têxteis na indústria automóvel foram liderados por desenvolvimentos em ciência e tecnologia de fibras e tecidos. Estes levaram ao desenvolvimento de têxteis e componentes baseados em têxteis para uma vasta gama de

aplicações automóbéis, capazes de atender às especificações do setor em relação ao elevado desempenho durante o período de uso [18].

Têxteis técnicos automóbéis incorporam uma ampla gama de aplicações, como em estofos e assentos, *headliners*, revestimento de piso, de portas e painéis laterais, cintos de segurança, *airbags*, pneus, entre outros. Estes têxteis são essencialmente feitos de tecidos de trama tricotados, tecidos de teia, tufados e laminados e não tecidos [18]. Os mesmos são projetados e desenvolvidos de acordo com técnicas rigorosas e de acordo com especificações estabelecidas pela indústria. Estes devem atender a requisitos de uso final, tais como: elevada resistência a diferentes tipos de ações mecânicas sob severas condições externas de temperatura, humidade, luz solar e poeiras.

Atualmente, os requisitos ambientais governamentais estão a colocar sobre a indústria automóvel pressão para a redução do consumo de combustível e, assim, reduzir as emissões de CO₂ [18]. Uma das soluções encontradas para atingir esse objetivo consiste na redução do peso do veículo.

A utilização de têxteis no interior do automóvel para além de servirem os propósitos já descritos são também usados em aplicações estéticas e funcionais: têm um importante contributo na promoção de amortecimento ao som e vibração, quando incorporados em tapetes e *headliners*. O seu uso em pneus contribui para o desempenho, aderência à estrada e durabilidade dos mesmos. Fios têxteis reforçados usam-se, maioritariamente, em mangueiras de alta pressão e cintos de segurança [3].

Na cadeia de fornecimento deste setor, os fabricantes têxteis não vendem diretamente os seus produtos às OEMs [18], como se verifica na Figura 4. A sua entrada na cadeia de fornecimento depende da natureza dos seus produtos e das especificações gerais.

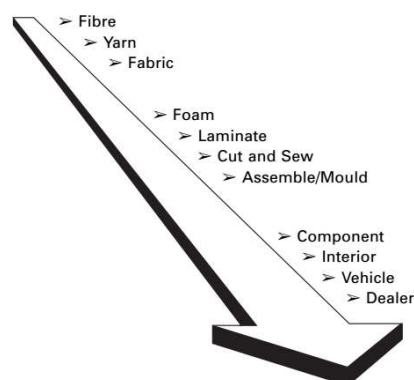


Figura 4- Cadeia de Fornecimento dos materiais têxteis para automóveis [18]

2.4 Fibras

Segundo o Instituto Têxtil, fibra é definida como sendo uma matéria-prima base do têxtil, geralmente caracterizadas pela sua flexibilidade, finura e alta relação entre comprimento e espessura.

As fibras são a base de todos os produtos têxteis e podem ser naturais ou feitas pelo Homem. Dentro destes dois grupos, existem dois tipos de fibras:

- Fibras de comprimento indefinido, chamadas de filamentos.
- Fibras de curto comprimento, chamadas de fibras descontínuas.

Filamentos são geralmente combinados e torcidos para formar fios, enquanto as fibras descontínuas são fiadas para criar fios. Os fios são os principais constituintes dos tecidos e das malhas. Tipos individuais de fibra podem ser usados sozinhos ou combinados com outros tipos de fibra com o intuito de melhorar a qualidade do produto final. O processo de combinar as fibras é denominado por mistura.

A flexibilidade e diâmetro da fibra são as características chave, que possibilitam a manipulação das fibras com o intuito de criar estruturas maiores como fios e tecidos. Muitos dos produtos têxteis, hoje fabricados, são misturas de diferentes tipos de fibras que originam uma mistura particular de propriedades, que influenciam a maneira como o produto será usado. A combinação de fibras com diferentes propriedades permite compensar as fraquezas ou propriedades de um tipo de fibras, como melhorar a performance do fio ou tecido resultante, melhorar ou fornecer uma aparência diferente, melhorar a eficiência do processo, nomeadamente a fiação, tecelagem e malha e por último a redução de custos.

Existem três tipos de grupos de fibras:

- Fibras naturais
- Fibras regeneradas
- Fibras sintéticas

Fibras sintéticas e regeneradas são conhecidas como fibras manufaturadas. As fibras naturais, como o próprio nome indica, ocorrem na natureza como é o caso da lã de ovelha ou o algodão. As fibras regeneradas são feitas de polímeros naturais que não são utilizáveis na sua forma original, mas podem ser regenerados para criar fibras uteis. Por outro lado, fibras sintéticas são obtidas pela polimerização de moléculas de menores dimensões em maiores através de um processo industrial.

A combinação de fibras para criar o tecido pode ser feita de diferentes formas nomeadamente a tecelagem, trabalho de malha e produção de não tecidos. As diferentes maneiras de produzir tecidos resulta nas variações de textura, aparência, drapeado bem como características de desempenho como força, durabilidade, conforto e proteção.

2.4.1 Fiação de Fibras Descontínuas - Algodão

A fiação consiste essencialmente em transformar a matéria-prima fibrosa num fio com a massa por unidade de comprimento desejada.

O algodão para fins comerciais, tem um período de planteio até à colheita de geralmente 5 a 7 meses [19]. Após colheita, é transportada para o descaroçamento. Este processo consiste na separação das fibras das sementes e matérias vegetais estranhas. O processo de descaroçamento consiste nas seguintes etapas:

- Amaciamento - para o ajuste do teor de humidade
- Separação da semente da fibra
- Limpeza - para limpar matérias vegetais estranhas
- Embalagem

Existem dois tipos de descaroçamento do algodão: Descaroçamento por Serragem e Descaroçamento de Rolos. O descaroçamento por serragem consiste na remoção das sementes e fibras curtas, de maneira bastante eficiente, através dos dentes da serra. Este método possui uma elevada taxa de produção, mas por outro lado causa bastantes danos às fibras. O descaroçamento de Rolos consiste na separação suave das fibras das sementes, através de rolos. Este método apresenta uma menor produtividade, uma vez que, fibras curtas e matérias estranhas não são removidas, sendo assim o descaroçamento por serragem o método mais utilizado [19]. Após o descaroçamento e serem transportadas via pneumática até às máquinas de limpeza, chegam até à carda onde as fibras são abertas, paralelizadas e unidas em forma de mecha. De seguida, são sujeitas a uma série de estiragens com o intuito de reduzir a densidade linear da fibra e homogeneizar a mistura. Por último, como etapa final, as fibras são torcidas para ganhar consistência e resistência à tração. Este mecanismo de torção denomina-se por fiação.

Os tipos predominantes de formação de fios consistem na fiação em anel e na fiação por rotor também conhecida por fiação *open-end*. Antes do processo de fiação é necessário misturar as fibras pretendidas, proceder à sua limpeza com o intuito de remover impurezas, fazer o seu alinhamento, fenómeno este que também pode ser designado como desenho da fibra, onde fibras cardadas ou penteadas são combinadas para formar uma única tira de fibras endireitadas. Por último estica-se as fibras suavemente para reduzir a densidade e a espessura.

A fiação em anel é o método de produção de fios mais utilizado. As fibras são torcidas em torno de si mesmas para dar força ao fio. Na fiação anelar, a mecha é alimentada a partir do carretel através dos rolos. Esses rolos alongam a mecha, que passa pelo ilhó, descendo e atravessando o viajante. O viajante movimenta-se livremente em torno do anel estacionário, entre 4.000 e 12.000 rotações por minuto [20] . O fuso gira a bobina a uma velocidade

constante. Este giro da bobina e o movimento do viajante torce e enrola o fio numa só operação, como se verifica pela Figura 5.

Na fiação por rotor, a fibra é alimentada lentamente à máquina através de um cilindro de alimentação, trabalhando juntamente com a placa de alimentação que sobre ela exerce pressão. As fibras, posteriormente, entram em contacto com um cilindro de abertura que se desloca a grande velocidade com o intuito de pentear as fibras até que elas se libertem e sejam transportadas. As impurezas são removidas através de uma abertura e aspiradas por um tubo de transporte até à parede interna do rotor. O tubo de transporte é afunilado com o intuito de originar uma corrente de ar com o intuito de endireitar as fibras. A força centrífuga pressiona as fibras contra a superfície do rotor, onde se forma um anel constituído por muitas camadas e fibras. A fiação inicia-se com a introdução de um fio iniciador, através de um robô, ao funil de saída acoplado à placa frontal. Uma vez que o rotor e o ar nele contido se encontram em rotação, a ponta do fio entra também em rotação e a força centrífuga impele-a contra as paredes interiores do rotor, onde entra em contato com o anel de fibras. Mal isso aconteça o fio iniciador é retirado, iniciando-se assim a produção de fio, tal como é ilustrado na Figura 6.

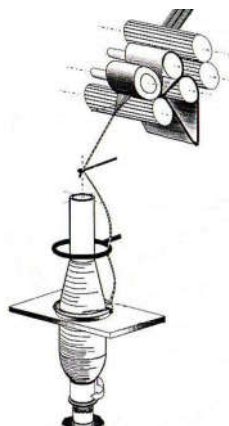


Figura 5-Fiação em Anel

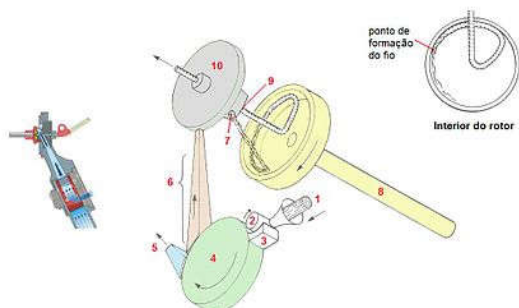


Figura 6- Fiação por Rotor

2.4.2 Fiação de Fibras Contínuas

As fibras sintéticas são maioritariamente produzidas na forma de filamentos contínuos, podendo também ser convertidas em fibras descontínuas.

A produção de fibras contínuas é feita por extrusão, que pode ser dividida em *melt-spun*, fusão do polímero, no caso do poliéster, *wet-spun*, coagulação do polímero e por último *dry-spun*, secagem do polímero no caso do elastano.

- **Melt-spun:** o polímero é fundido e posteriormente extrudido através de uma fieira. As fibras após serem arrefecidas e solidificadas são recolhidas numa roda de recolha. O facto de as fibras serem esticadas no estado fundido e sólido permite a orientação das cadeias poliméricas ao longo do eixo da fibra.
- **Wet-spun:** utilizado no caso dos polímeros que necessitam de ser dissolvidos num solvente antes de entrarem no girador. A fieira permanece submersa num banho químico, para ocorrer a precipitação do polímero, de seguida, ocorre a solidificação à medida que o mesmo emerge dos furos da fieira.
- **Dry-spun:** usada no caso de polímeros que necessitam de ser dissolvidos num solvente. A solidificação, no entanto, é obtida a partir da evaporação do solvente, posteriormente a solução é bombeada através de uma fieira. É utilizado ar ou gás inerte para a evaporação do solvente, resultando assim, a solidificação das fibras [19].

2.5 Trabalho de Malha

O trabalho de malha é um dos métodos mais versáteis para a produção do têxtil. A estrutura de uma malha é construída a partir de uma série de laçadas entrelaçadas. De maneira a simplificar o processo de malha, cada laçada requer a sua própria agulha, sendo que esta depende do tipo de máquina, mas no geral o trabalho de malha permanece fundamentalmente o mesmo.

Existem dois tipos distintos de tecnologias de malhas, que consequentemente produzem tecidos bastante diferentes e com aplicações específicas - trama e teia. O método mais conhecido é o de trama, uma vez que, é o usado na malharia de mão.

Os tecidos de malha de trama usam o mesmo princípio que os de teia, na medida em que ambos usam laçadas de fios entrelaçados para formar a estrutura têxtil. No entanto, ao contrário da malha de teia, onde as laçadas são formadas na direção vertical, a malha de trama é produzida criando laçadas horizontais, podendo ser produzidas em tear circular.

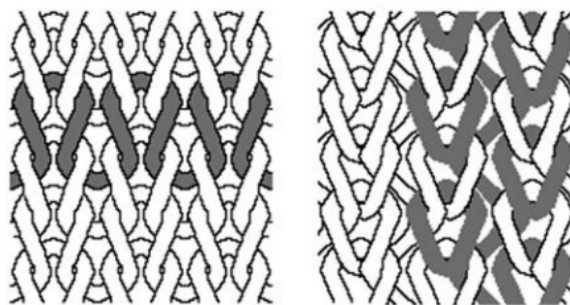


Figura 7- Trama e Teia

No método do tear circular, as agulhas de tricotar estão dispostas numa posição circular e podem ser alimentadas a partir de uma variedade de fontes localizadas em torno da circunferência da máquina, no que resulta um aumento da produtividade. Os tecidos obtidos são geralmente tubos contínuos, que mais tarde poderão vir a ser cortados com o intuito de produzir um tecido de largura aberta. Tecidos de trama, como é o caso do *single* e do *double jersey*, são fabricados segundo esta tecnologia.

Malha de teia é construída a partir de laçadas entrelaçadas, onde os fios se conectam em ziguezague. Uma máquina de tricotar de teia consiste em agulhas que se estendem ao longo da largura da máquina, mas cada agulha individual é alimentada a partir de uma fonte de fio independente (contém vários pontos de tricotagem), simulando assim o tecido, não desmalha.

A diferença fundamental entre os dois métodos de tricotar encontra-se no facto de, que para produzir malha de teia, cada uma das agulhas do tear é alimentada pelo seu próprio fio, enquanto para produzir malha de trama, basta um só fio para alimentar todas as agulhas do tear. Consequentemente, enquanto num tear de malha de teia com mil agulhas necessitam-se pelo menos mil fios, num tear de malha de trama basta apenas um único fio para a produção da malha [21].

2.6 Fibras de Poliéster

Poliéster, PES, ou polietileno tereftalato, PET, é um polímero que na sua cadeia principal contém o grupo funcional éster, em pelo menos 85 % em massa [19]. Os poliésteres são derivados de uma reação de poli condensação entre ácidos carboxílicos e dióis. Estes podem ser classificados em poliésteres termoplásticos, que consistem em polímeros formadores de filmes e fibras, como é o caso do PET e em poliésteres termofixos, que consistem basicamente em resinas de poliéster insaturado que, após cura, formam estruturas altamente reticuladas. Os últimos são utilizados em grande escala como uma matriz para a preparação de materiais compósitos reforçados com fibras para unir a estrutura fibrosa.

PET é o polímero sintético mais utilizado e importante da indústria têxtil e outros setores, podendo também ser utilizados na produção de garrafas plásticas, canoas, telas de cristal

líquido (LCD) e laminação de alta qualidade. Apresenta como principal vantagem a capacidade de ser reciclado e são o segundo maior tipo de fibras a serem produzidas e consumidas em todo o mundo, a seguir ao algodão [19].

2.6.1 Produção de PET

O PET pode ser produzido comercialmente por dois métodos: tereftalato de dimetilo, DMT, e por ácido tereftálico, PTA. O primeiro envolve a reação de DMT com monoetilenoglicol, MEG, na presença de um catalisador, a 150-200 °C, para formar tereftalato de dietilenoglicol, DGT. Posteriormente ocorre o processo de polimerização por policondensação, numa gama de temperaturas entre 265-285 °C, formando-se assim o PET. O segundo método envolve a reação de PTA com MEG, na presença de catalisador, a uma temperatura entre 250-290 °C com o intuito de formar o monômero tereftalato de bis (2-hidroxietileno), BHET, seguindo-se a formação de PET por policondensação [19].

2.6.2 Produção de Fibras PET

As fibras de PET são formados em grãos e alimentados ao processo de fiação por fusão. O alimentador da tremonha funde o polímero, onde posteriormente é alimentado à extrusora de fusão, sendo a temperatura mantida entre os 280-290 °C, como se verifica pela Figura 8. Os filamentos são sujeitos a um processo de desenho com o intuito de melhorar as propriedades de resistência à tração e rigidez das fibras. Dependendo do uso final, as fibras podem ser recolhidas na forma de filamentos ou convertidas em fibras curtas [19].

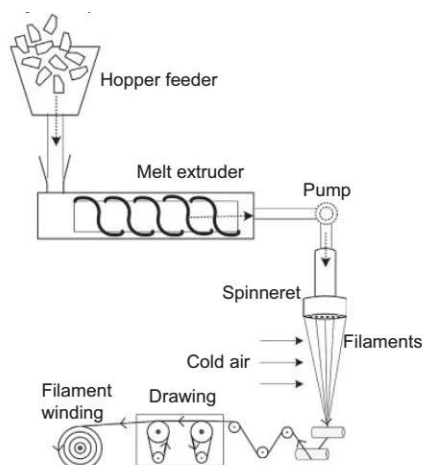


Figura 8 - Produção de filamentos PET por melt-spun [19]

2.6.3 Estrutura e Propriedades da Fibra de PET

O peso molecular da unidade de repetição de PET é 192. As fibras de PET são compostas por uma estrutura parcialmente orientada e parcialmente cristalina. Apresenta um grau de cristalinidade de 55 % quando estirada. A sua temperatura de transição vítrea é cerca de 70 °C

e o ponto de fusão está no intervalo de 255 a 270 °C. A densidade da fibra de poliéster é de 1,39 g·cm⁻³ [19]. Pode-se verificar a sua estrutura química na Figura 9.

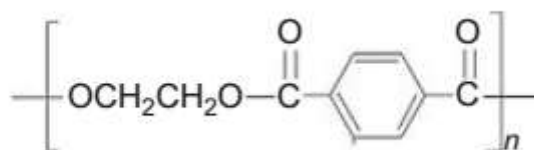


Figura 9- Estrutura química do PET

As fibras de PET apresentam as seguintes propriedades: são hidrofóbicas e possuem um baixo valor de recuperação de humidade de 0,4 %, devido a esta propriedade, são repelentes à água e de rápida secagem. Apresentam excelente resistência à tração e ao alongamento, não sofrem encolhimento, resistentes a rugas e apresentam excelente resistência à abrasão, produtos químicos e por último a mofo [19].

2.6.4 Aplicações das Fibras de PET

Devido às suas propriedades, acima referidas, as fibras de PET tendem a ser usadas em diversas aplicações no setor têxtil e industrial. É a fibra mais utilizada na mistura com algodão e lã e para além das suas aplicações no setor têxtil, são também utilizadas em móveis domésticos, cortinas, estofos e tapetes. Encontram-se também aplicadas, em têxteis técnicos, como é o caso dos cintos de segurança, cordas, redes, estofos para automóveis e reforço de pneus.

2.7 Reciclagem de PET

As fibras de poliéster do tipo PET, apesar de apresentarem como base o petróleo, material não renovável e causador de danos ao meio ambiente durante o seu processo de extração, apresentam uma enorme vantagem perante algumas fibras naturais por serem totalmente recicláveis. Atualmente são usadas garrafas PET como material base para o desenvolvimento de fibras de poliéster, neste caso recicladas. A utilização de garrafas PET, para a produção de fibras de poliéster, apresenta enormes vantagens, como a não utilização do petróleo, diminuição do gasto energético em comparação com a produção de uma fibra virgem e por último, mas não menos importante, diminui a quantidade de garrafas descartadas no meio ambiente.

O PET é o plástico mais reciclado no mundo, segundo a PETRA, *PET Resin Association*, a taxa de reciclagem nos EUA é cerca de 31 % em 2012, enquanto na União Europeia é de 52 %. Quase 0,8 mil milhões de quilos de garrafas de PET foram recicladas em 2015, com o intuito de fabricar vários produtos finais.

A reciclagem de garrafas de PET consiste basicamente, na decomposição (despolimerização) dos flocos de resíduos de garrafas em ésteres sustentáveis (monómeros), através de um processo de glicólise. Estes monómeros podem ser utilizados para a produção de todos os produtos à base de PET, como garrafas, embalagens e fibras de poliéster.

Após despolimerização, o conjunto de ésteres são submetidos a uma filtração de nível micro e descoloração para remover todos os contaminantes, obtendo-se ésteres reciclados equivalentes a ésteres virgens. Sendo assim, é possível a formação de cadeias repetitivas dos ésteres filtrados, isto é poliéster, utilizando a mesma metodologia e equipamento do processo petroquímico convencional, com a diferença no material de origem [22]. Outro tipo de reciclagem é a reciclagem mecânica, a mais comum, que consiste na conversão física por extrusão de flocos de garrafas de PET. Os flocos são secos antes de extrudidos e filtrados após extrusão, à semelhança da reciclagem por glicólise [23].

Segundo a empresa têxtil *Santanderina* [24], como o processo de reciclagem reconstitui a fibra a nível molecular, não há diferença entre o poliéster reciclado e o poliéster virgem. O seu desempenho e durabilidade, incluindo a resistência e versatilidade funcional do poliéster reciclado, é o mesmo do poliéster virgem, mas com menor impacte ambiental.

2.8 Algodão Orgânico

O algodão orgânico é produzido e certificado de acordo com os padrões agrícolas orgânicos. A sua produção sustenta a saúde dos solos, ecossistemas e pessoas usando processos unicamente naturais. A cultura orgânica do algodão, não permite o uso de produtos químicos tóxicos ou transgénicos que causam efeitos adversos, por sua vez, baseia-se em processos ecológicos, biodiversidade e ciclos adaptados às condições locais.

2.8.1 Regras para a cultura orgânica do algodão em comparação com o convencional

O sistema de cultivo de algodão orgânico pode ser aplicado em diferentes escalas, no entanto, em média o cultivo de algodão orgânico tem apenas 4,3 hectares, o que indica que os sistemas de agricultura biológica são relativamente pequenos [25]. As principais diferenças entre o cultivo do algodão convencional e o orgânico estão apresentadas na Tabela 1.

No estudo de ACV realizado, pela *Textile Exchange* em 2014 [26], sobre algodão orgânico, foram encontrados benefícios significativos e mensuráveis em comparação com o convencional. Segundo este estudo, há uma redução em 46 % do aquecimento global devido à não utilização de fertilizantes, pesticidas e irrigação. A acidificação terrestre e aquosa, devido às reduzidas emissões provenientes dos fertilizantes e redução energética, decresce 70 % em relação ao cultivo convencional do algodão. No cultivo do algodão orgânico há uma diminuição do consumo de água e do uso de energia em 91 % e 62 % devido à redução da irrigação e a economia de energia da produção de fertilizantes e do seu próprio uso [26].

Tabela 1-Comparação do cultivo do algodão convencional e o algodão orgânico [26].

Cultivo algodão Convencional	Cultivo Algodão Orgânico
• Tipicamente trata as sementes com fungicidas ou inseticidas • Usa sementes geneticamente modificadas para a maioria do algodão	• Usa sementes sem tratamento • Não é permitido o uso de sementes geneticamente modificadas
• Utiliza fertilizantes sintéticos • Causa perda de solo devido predominantemente à monocultura • Depende da irrigação	• Constrói matéria orgânica do solo através da rotação de culturas, culturas intercalares e compostagem • Retém água de maneira mais eficiente devido à matéria orgânica presente no solo
• Aplica herbicidas	• Controla as sementes através do cultivo e remoção física
• Usa inseticidas para matar pestes	• Mantém o equilíbrio entre pragas e os seus predadores através de um solo saudável • Usa insetos benéficos, práticas biológicas e culturais para controlar pragas
• Pode desfolhar com produtos químicos	• Desfolha através de congelamento sazonal natural

3 Materiais e Métodos

3.1 Metodologia Análise de Ciclo de Vida - ACV

A ACV é uma metodologia objetiva que atualmente é considerada consensualmente como a mais adequada para a definição de estratégias e/ou políticas ambientais, assim como instrumento de apoio à tomada de decisões relacionadas com as mudanças dos padrões de consumo e produções atuais claramente insustentáveis a médio e longo prazo. É um método estruturado, abrangente, e padronizado internacionalmente pelas normas ISO 14040 [27] e ISO 14044 [28] que quantifica todas as emissões e recursos consumidos e determina impactes ambientais resultantes relacionados com o ciclo de produtos ou serviços [29].

A análise padrão inclui toda a vida do objeto de estudo, desde o início (extração das matérias-primas), passando pelas etapas intermédias (produção, transporte e uso) até ao final de vida (disposição final ou reciclagem). Nesta forma o estudo de ACV é designado por *cradle-to-grave*. É possível realizar uma ACV excluindo a fase de uso e de fim de vida, dependendo dos objetivos do estudo e da informação disponível, sendo esse tipo designado por análise *cradle-to-gate*, situação em que se encontra o estudo efetuado neste trabalho.

Segundo a norma ISO 14040, a metodologia de ACV consiste em 4 fases, como se se pode observar na Figura 10:

1. Definição do objetivo e do âmbito
2. Análise de inventário
3. Avaliação de impactes ambientais
4. Interpretação

As fases encontram-se interligadas entre si, e na aplicação da metodologia a um produto e/ou serviço são aplicadas de forma sequencial. No entanto, como evidenciado na Figura 10, as diferentes fases interagem entre si, visto que durante a fase em estudo poderá ser necessário modificar, por exemplo, os pressupostos enunciados em fases anteriores, ou influenciar as fases seguintes. Por outro lado, um estudo de ACV nunca se pode considerar como definitivo, visto que a evolução da tecnologia e/ou dos conhecimentos pode tornar os resultados de um estudo obsoletos e implicar a necessidade de se fazer um novo estudo.



Figura 10- Fases de uma ACV

3.2 Definição do âmbito, objetivos e unidade funcional

Segundo a norma ISO 14040, a definição do âmbito e dos objetivos descreve o propósito do estudo e em que contexto serão usados os resultados obtidos. Esta fase envolve também a definição da(s) fronteira(s) do sistema, a unidade funcional, e o seu enquadramento regional, temporal e tecnológico.

3.2.1 Definição do âmbito e objetivos

O objetivo principal deste estudo é completar e estender o estudo preliminar já referido anteriormente [5] para a avaliação da malha têxtil dos produtos à base de PVC, PVU e TPU. O estudo tem uma natureza atributiva, visto que se pretende determinar os impactos ambientais associados aos produtos, e não quais são as variações dos impactos ambientais resultantes das alterações no processo produtivo.

3.2.2 Definição do Sistema

Considerou-se uma ACV do tipo *cradle-to-gate*, eliminando-se assim a fase de utilização e de fim-de-vida. Esta escolha deve-se ao facto da empresa pretender numa primeira fase reduzir a complexidade da ACV e devido também à elevada incerteza sobre os impactos ambientais associados à fase de uso e de fim de vida, que não dependem das atividades normais da TMG Automotive.

Assim, o sistema em estudo inclui os seguintes sub sistemas: produção de energia, produção de matérias-primas, produção na fábrica da TMG Automotive, e tratamento de resíduos gerados na fase de produção na fábrica, como se pode observar Figura 11. O único processo de *foreground* corresponde à produção na fábrica da TMG Automotive, uma vez que é

a única parte do sistema sobre a influência direta do produtor. As restantes partes do sistema são processos de *background*, visto não estarem sob controlo direto do produtor, como é possível verificar pela Figura 11 (e mais detalhe na Figura 12).

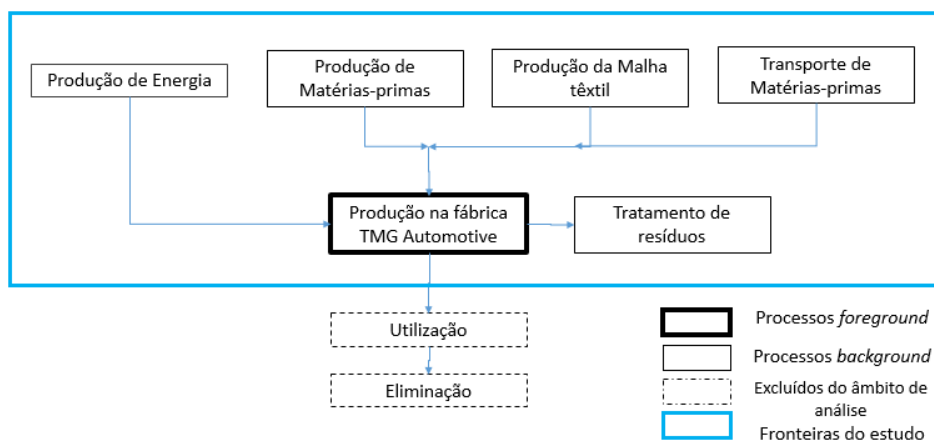


Figura 11 - Definição das fronteiras do sistema de ACV

O modelo de ciclo de vida para o cálculo dos impactos ambientais foi desenvolvido de acordo com os processos unitários existentes. No presente trabalho, a alocação dos impactos ambientais foi determinado ao longo do processo de recolha de dados para os processos *foreground*, enquanto para os processos de *background* se recorreu a dados provenientes de bases de dados e literatura.

3.2.3 Unidade Funcional

A unidade funcional é uma medida do desempenho do produto ou serviço em estudo. A sua definição permite uma base de comparação objetiva entre produtos ou serviços produzidos por empresas diferentes, ou produtos ou serviços diferentes. Um dos principais propósitos da unidade funcional é servir de unidade de referência para os dados de análise de inventário e para o cálculo dos impactos ambientais, permitindo a comparação dos sistemas diferentes mas com objetivos idênticos [30].

Tendo em conta o estudo preliminar e as práticas usuais na indústria automóvel, em particular nos estudos de ACV já existentes para diferentes produtos têxteis considerou-se como unidade funcional selecionada 1 m² de produto acabado [31].

3.2.4 Enquadramento tecnológico, regional e temporal

Todos os processos foram modelados tomando em conta as tecnologias mais recentes e as melhores práticas de produção em Portugal e na União Europeia em estudo. Os dados primários (referentes aos processos que são diretamente vinculados à ACV) e secundários (referentes aos processos que servem de suporte aos dados primários) foram obtidos, sempre que possível, para o contexto Português e da União Europeia. Apesar de não existir informação sobre a validade temporal dos dados e como é que será a evolução a curto prazo das tecnologias

atualmente usadas, a TMG Automotive desenvolve as suas atividades numa indústria madura e com os processos já bem estabelecidos. Assim, é possível assumir com confiança que os dados usados e os resultados do estudo de ACV têm um período de validade de 10 anos.

3.2.5 Critérios de Exclusão e Inclusão de Entradas e Saídas

De maneira a definir as quantidades de fluxos de energia, materiais ou emissões/resíduos a englobar no âmbito do estudo e nas fronteiras do sistema, como se verifica na Figura 12, foram considerados critérios de exclusão. Estes permitem simplificar o estudo através da eliminação de fluxos de materiais, energia ou emissões/resíduos muito pequenos quando comparados com os valores globais para todo o sistema.

Neste estudo considerou-se um critério de *cut-off* de 5 %, valor este definido pela empresa, onde foram excluídas as entradas que contribuem menos de 5 % da massa total de entradas do sistema do produto em análise.

3.3 Análise do Inventário e fontes de dados

A fase de inventário corresponde à contabilização dos consumos de energia e materiais, quer sejam matérias-primas ou outros materiais necessários para a produção, mas não incorporados no produto final, e das emissões e resíduos gerados no sistema. Neste trabalho foram feitos os inventários de ciclo de vida dos três produtos da TMG Automotive, PVC, PVU e TPU, com base na informação recolhida na empresa, nomeadamente ao nível de consumo energético, matérias-primas, emissões atmosféricas do processo e tratamento de resíduos.

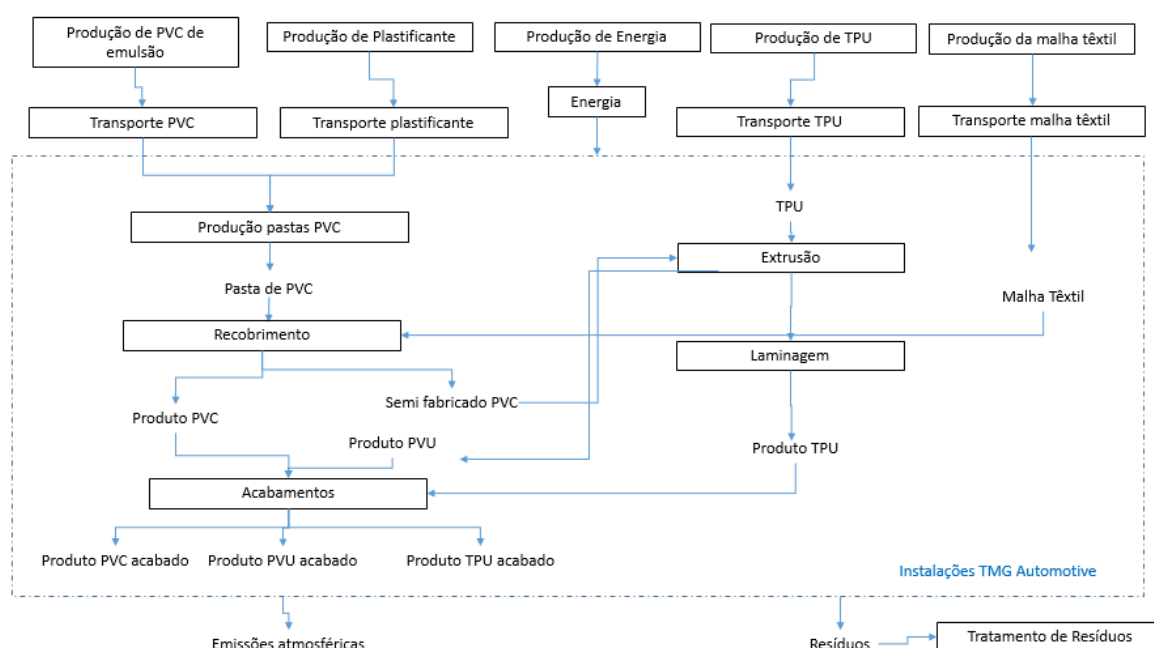


Figura 12 - Diagrama processual do fabrico dos produtos de PVC, PVU e TPU

Os dados, sempre que necessário, foram complementados com informações da literatura, como o caso do processo de síntese de matérias-primas e fatores de emissão para transporte obtida a partir do banco de dados ELCD database 2.0. e o *mix* energético, para a eletricidade consumida, obtida a partir do banco de dados ELCD database 2.0 específico para Portugal. Outras bases de dados usadas incluem PlasticsEurope, GaBi databases 2011, Ecolnvent V3.0, Textile Exchange, Cotton Incorporated, Universidade de Utrecht e o *software* OpenLCA, tendo sido feito um esforço de usar fontes de dados de acesso livre. Na Tabela 11 do Anexo A são listadas as fontes de todos os dados usados neste trabalho, e para que parte do inventário foram usadas.

No âmbito dos objetivos deste trabalho, foi desenvolvido também um questionário, em formato MS Excel™ para enviar às empresas fornecedoras da TMG Automotive, focando nos fornecedores de fio e outras matérias-primas essenciais para a produção da malha têxtil. O inquérito inclui questões sobre consumos energéticos, origem das matérias-primas, emissões dos processos, entre outros dados e informação relevante para o sistema em estudo, sendo o mesmo apresentado no Anexo C. Desse modo, será possível utilizar dados primários no estudo de ciclo de vida a realizar neste projeto, tornando os resultados mais próximos da realidade. No entanto, devido ao fator tempo para o preenchimento do questionário por parte dos fornecedores, este não foi utilizado neste projeto, sendo que a utilização desses dados ficará para trabalho futuro.

Nas subsecções seguintes descreve-se detalhadamente os termos principais do inventário tidos em conta neste trabalho. Devido à impossibilidade de separar por produto os valores, aplicou-se um procedimento de alocação, em que o valor total de consumo ou emissão é alocado a cada produto, proporcionalmente à quantidade de cada produto em m², relativamente à quantidade total produzida.

3.3.1 Consumo de matérias-primas

Como já foi referido anteriormente, foi aplicado um *cut-off* de 5 % aos produtos à base de PVC, TPU e PVU, permitindo assim, obter um inventário de ciclo de vida com os materiais mais relevantes para o produto final. Tendo em conta o *cut-off* considerado, para o produto à base de PVC foram considerados a malha têxtil, plastificante e resina de PVC. No caso do produto de PVU considerou-se a malha têxtil, plastificante, resina de PVC e TPU. Por último, no caso do produto à base de TPU, considerou-se a malha têxtil e TPU.

Para a resina de PVC utilizou-se a base de dados da ELCD *database* 2.0, com dados correspondentes à produção de cloreto de vinilo (VCM) e à polimerização em emulsão, contendo também dados relativos à extração e refinação de petróleo bruto e à extração e processamento de gás natural, dados estes específicos para a Europa [32]. Considera-se que a eletricidade é obtida do *mix* energético médio na União Europeia. As matérias-primas utilizadas para produzir

eletricidade são combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás. Todos os processos de transporte relevantes e conhecidos utilizados estão incluídos. O transporte internacional de e para os principais portos, bem como todo o transporte relevante e conhecido de oleoduto e / ou petroleiro das importações de petróleo bruto estão incluídos [32]. Para o plastificante, utilizou-se a base de dados do GaBi *database* 2011, com dados específicos de produção do plastificante, informações estas provenientes de três fornecedores europeus [33].

O produto de TPU é constituído por uma compacta de TPU aromático. Para a representar a base de dados do GaBi *database* 2011 foi utilizada, que cobre todos os passos do processo e tecnologias para a produção da compacta de TPU [34]. No entanto, sendo processos já implementados há muitos anos, é possível assumir que os dados são representativos também da situação europeia.

Em relação à malha têxtil, como foi referido anteriormente [5] esta foi determinada como sendo a matéria-prima como maior contribuição de impacto ambiental para os produtos em análise. Com o intuito de representar o têxtil de PET, utilizou-se a literatura desenvolvida pelo Departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht [23], em que compara os impactos ambientais do processo de fabrico de uma fibra de PET reciclado em comparação com fibra de PET virgem, numa perspetiva *cradle-to-grade*. O estudo, publicado em 2010, rege-se pela norma ISO 14040, tendo sido revisto por entidades acreditadas. Na modelação foram utilizados dados de indústria de produção de polímeros e bases de dados de ACV, com unidade funcional de 1 kg de fibra de PET para as condições da Europa Ocidental [23]. Uma vez que no estudo referido acima, não existe informação acerca do consumo de *blue water*, foi necessária consultar literatura adicional. Segundo o estudo realizado pela marca C&A e a *Water Footprint Network*, são necessários $31 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ de fibras de PET para a sua síntese [35]. Os impactos ambientais por unidade funcionais são apresentados na Tabela 2, tendo sido usado no estudo a metodologia de avaliação de impacto ambiental CML 2001.

Tabela 2 - Impactes ambientais para a produção de fibras de PET virgem determinado pelo departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht [23]

Categoria de impacto ambiental	Unidades	Produção de fibras de PET virgem (unidade funcional = 1 kg fibras)
Aquecimento Global 100a	kg CO ₂ eq	4,06
Potencial de Acidificação	kg SO ₂ eq	0,021
Potencial de Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,0012
Depleção Abiótica	kg Sb eq	0,045
Toxicidade Humana infinito	kg 1,4-DB eq	4,393
Ecotoxicidade de águas doces	kg 1,4-DB eq	0,058
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	0,012
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,00100
Consumo de <i>blue water</i>	kg	31
Consumo de Energia Primária	MJ	95

No caso do algodão, usou-se novamente a literatura, neste caso, um estudo de ACV desenvolvido pela *Cotton Incorporated* [36]. O estudo, publicado em 2012 e atualizado em 2017, foi desenvolvido segundo as normas ISO 14040, tendo sido revisto por entidades acreditadas. O estudo analisa três fases de ciclo de vida do têxtil de algodão, nomeadamente a produção de fibras de algodão (agricultura e descaroçamento), fabrico de têxteis e utilização. Dado o objetivo deste projeto, considerou-se apenas as duas primeiras fases de ciclo de vida. A cultura do algodão encontra-se modelada para os Estados Unidos da América, Índia, China e Austrália, correntemente os maiores produtores de algodão [36]. O processo de fabrico da fibra é calculado para uma unidade funcional 1 kg de fibra de algodão, sendo modelados através de dados primários complementados com literatura e dados de fornecedores [36]. Os valores dos impactes ambientais por unidade funcional referentes ao estudo encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Impactes ambientais para a produção de fibras de algodão determinado pela Cotton Incorporated [36]

Categoria de Impacte Ambiental	Unidades	Produção da fibra de algodão (unidade funcional = 1kg de fibras)
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	1,326
Procura de energia primária	MJ	13,720
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	0,0264
Potencial de eutrofização	kg PO ₄ ³⁻	0,00780
Potencial de depleção da camada de ozono	kg R11 eq	4,70x10 ⁻¹¹
Potencial de criação de ozono fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq	0,00020
Consumo de <i>blue water</i>	kg H ₂ O	1560
Partículas atmosféricas na saúde humana	kg PM 2,5 eq	0,00180
Potencial de depleção de recursos abióticos	kg Sb eq	8,30x10 ⁻⁷

Uma vez que, para a produção de um têxtil com o mesmo ponto, neste caso tipo *jersey*, a produção se mantém igual independentemente das matérias-primas, utilizou-se novamente, o estudo da *Cotton Incorporated* para a produção da malha têxtil. Os processos de *foreground* foram modelados com base em informação recolhida diretamente dos intervenientes da cadeia produtiva do têxtil, enquanto os de *background* foram obtidos através de bases de dados do *software* de ACV GaBi. A produção do têxtil encontra-se modelada para a Ásia, Euroásia e América Latina, sendo os maiores produtores mundiais de têxtil considerados pela *Cotton Incorporated*. O processo de fabrico da malha têxtil é calculado para uma unidade funcional de 1 kg de têxtil [36]. Considera-se válida a utilização dos dados do estudo acima referido, sendo os impactes ambientais por unidade funcional apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Impactes ambientais para a produção de têxtil de algodão determinado pela Cotton Incorporated [36].

Categoria de Impacte Ambiental	Unidades	Produção do têxtil de algodão (unidade funcional = 1kg de têxtil)
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	10,701
Procura de energia primária	MJ	132,763
Potencial de acidificação	kg SO ₂ eq	0,0796
Potencial de eutrofização	kg PO ₄ ³⁻	0,00443
Potencial de depleção da camada de ozono	kg R11 eq	1,78x10 ⁻⁹
Potencial de criação de ozono fotoquímico	kg C ₂ H ₄ eq	0,0049
Consumo de <i>blue water</i>	kg H ₂ O	182
Partículas atmosféricas na saúde humana	kg PM 2,5 eq	0,0151
Potencial de depleção de recursos abióticos	kg Sb eq	2,53x10 ⁻⁵

3.3.2 Consumo Energético

Não foi possível determinar os valores de consumo de eletricidade e gás natural específicos para cada produto, visto que a maior parte da energia usada na TMG Automotive é consumida pelas unidades de tratamento de gases poluentes (*Regenerative Thermal Oxidizer* (RTO)). Estes RTOs realizam o tratamento de gases poluentes das várias unidades fabris, não sendo atualmente possível quantificar separadamente o consumo de energia de cada unidade. Por este motivo, utilizaram-se consumos globais da instalação do ano 2017, tanto para a eletricidade como para o gás natural. Os dados encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Consumos globais de energia elétrica e térmica da TMG Automotive para o ano de 2017 [5]

Consumos	Valor	Unidade
Consumo global de eletricidade	1,02	kWh·m ⁻²
Consumo global de gás natural	7,53	MJ·m ⁻²

Uma vez que o produto à base de PVC não inclui a fase de extrusão, diferenciou-se este produto subtraindo-se ao consumo global do produto o consumo específico da extrusão. Para o caso do produto à base de TPU, uma vez que não inclui fase de recobrimento, um procedimento análogo foi efetuado, em particular subtraindo-se ao consumo global do produto, o consumo específico do recobrimento do PVC.

Para os processos de *background* de consumo de eletricidade e gás natural, recorreu-se à base de dados da ELCD 2.0, onde o fornecimento de combustível específico para Portugal (parte dos recursos utilizados, por importação e / ou oferta interna) incluindo as propriedades específicas do portador de energia (por exemplo, conteúdo de elementos e energia), é contabilizado [37]. O conjunto de dados considera toda a cadeia de fornecimento de gás natural, ou seja, exploração, produção, processamento (por exemplo, dessulfurização), perdas ocorridas durante o transporte via oleoduto ou embarcação são incluídas [38].

3.3.3 Emissões atmosféricas das instalações da TMG Automotive

Os efluentes gasosos provenientes das instalações da empresa são tratados nos RTOs, mencionados anteriormente, não sendo possível a discriminação das emissões correspondentes a cada produto, foi necessário aloca-los em função da quantidade de cada produto gerada.

3.3.4 Tratamento de resíduos

Para o tratamento de resíduos resultantes do processo, foi aplicado, à semelhança dos produtos em estudo, um *cut-off* de 5 % em massa à totalidade de resíduos gerados em 2017, resíduos estes tabelados na Tabela 10 do Anexo A, não sendo possível fazer alocação a cada um dos produtos individualmente, o procedimento de alocação definido em cima foi usado novamente.

A modelização do tratamento de resíduos foi feita usando dados da base de dados inventário Ecoinvent disponível no *software* de ACV Simapro V8.5.2, usando o método CML 2011 (*all impact categories*).

3.3.5 Transportes

Utilizou-se a base de dados de ACV ELCD 2.0, que contém os fatores de impacto ambiental associados ao meio de transporte em questão. As seguintes emissões de combustão (dados medidos) do camião são tidas em consideração: amoníaco, benzeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxidos de azoto, óxido nitroso, compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), partículas, dióxido de enxofre, tolueno e xileno. O conjunto de dados inclui toda a cadeia de fornecimento de combustível, desde a exploração e extração de petróleo cru em preparação e o transporte até o consumidor. Produtos de refinaria como o Diesel, gasolina, gases técnicos, óleos combustíveis, óleos básicos e resíduos como betume são modelados por meio de um modelo parametrizado de refinaria específico do país, neste caso específico é feita uma média europeia [39].

O transporte das matérias-primas é medido em tkm, e modela-se através do produto da quantidade de matérias-primas em toneladas por unidade funcional de produto acabado, neste caso 1 m² de produto, a distância percorrida em km e o fator de impacto específico para o meio de transporte utilizado, de acordo com a Equação 1.

$$transporte = massa \times distância \times fator\ de\ emissão \quad (1)$$

Foi então realizada a modelação do transporte de todas as matérias-primas específicas para cada produto em estudo, dos fornecedores até à TMG Automotive, segundo a Equação 1 referida acima.

3.4 Categorias de impacto ambiental e Método de Cálculo

Um dos objetivos centrais da metodologia é a determinação de indicadores quantitativos, designados normalmente por indicadores de impacto ambiental, que permitem avaliar de forma objetiva os impactos ambientais do sistema, tornando mais fácil identificar quais os *hot spots* do sistema e que processos devem ser melhorados inicialmente, apoiando assim a tomada de decisão [40]. Os indicadores de impacto ambiental devem ser relevantes para o setor em estudo, neste caso produção de tecidos plastificados para o sector automóvel, tendo em conta as características principais de todos os processos envolvidos e os *stakeholders* mais relevantes. A seleção dos indicadores deve ter em conta também as informações presentes na literatura sobre as iniciativas de sustentabilidade e quais são as boas práticas no setor em estudo. Embora existam esforços para considerar os aspetos sociais e culturais, na maioria dos casos apenas os indicadores ambientais e económicos são levados em consideração [41]. Indicadores sociais e económicos não foram considerados neste projeto, de acordo com a metodologia de ACV definida na norma ISO 14040. De maneira a assegurar coerência de dados com a literatura, em particular os dados e resultados dos estudos da *Cotton Incorporated* [36], *Textile Exchange* [26] e *Resources Conservation and Recycling* [23], foi utilizado a metodologia CML 2001 (*all impact categories*) publicada pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden. Os fatores de caracterização da CML são amplamente utilizados e respeitados dentro da comunidade ACV. Sendo assim, foi utilizado o método CML 2001 (*all impact categories*), que permitiu a classificação e caracterização dos impactos dos produtos da TMG Automotive e das matérias-primas da malha têxtil. O método fornece um conjunto de indicadores para diferentes categorias de impacto, que refletem os impactos potenciais relacionados com emissões poluentes ou consumo de recursos. Neste estudo foram escolhidos como indicadores ambientais o Potencial de Aquecimento Global, Acidificação, Eutrofização, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade aquática de Água Doce, Ecotoxicidade Terrestre e formação de Oxidantes Fotoquímicos. Escolheram-se os indicadores referidos, uma vez que existe um grande consumo energético nos processos produtivos. Caso a produção de energia elétrica tenha origem em combustíveis fósseis, existe a libertação de gases poluentes, óxidos de azoto (NO_x), dióxido e enxofre (SO₂) e monóxido de carbono (CO). A libertação dos gases poluentes têm um impacto significativo para a acidificação e eutrofização, as partículas geradas têm impacto na saúde humana, daí ter-se em conta a toxicidade humana neste estudo. No caso da Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Terrestre e Ecotoxicidade de Águas Doces, como existem 4 variantes, selecionou-se pior caso possível, considerando um tempo infinito para a Toxicidade Humana e 100 anos para a Ecotoxicidade Terrestre e Ecotoxicidade de Águas Doces.

As substâncias que contribuem para uma categoria de impacto são multiplicadas por um fator de caracterização que expressa a contribuição relativa da substância, podendo, assim,

ser visto como um fator de equivalência. Na Tabela 6, as categorias de impacto do CLM 2001 são indicadas e suas unidades equivalentes apresentadas. Cada categoria de impacto é descrita em mais detalhe nas subsecções seguintes.

Tabela 6 - Unidades em fator de equivalência das categorias de impacto do CML 2001

Categoria de Impacte	Unidade
Acidificação	kg SO ₂ eq
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq
Aquecimento Global 100a	kg CO ₂ eq
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	kg 1,4-DB eq
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq

3.4.1 Potencial de Aquecimento Global (AG 100a)

O mecanismo de efeito de estufa pode ser observado em pequena escala, como o próprio nome sugere em estufas. A radiação emitida pelo sol é absorvida pelos chamados gases de efeito de estufa e é irradiada em todas as direções, provocando um efeito de aquecimento na superfície, com os consequentes efeitos no clima e alterações climáticas. O potencial de aquecimento global é calculado em equivalentes de dióxido de carbono (CO₂ eq), significando que o potencial é dado em relação ao CO₂. Uma vez que o tempo de permanência dos gases na atmosfera é incorporado no cálculo, um intervalo de tempo para a avaliação deve ser especificado, sendo o período de 100 anos o habitual [42].

3.4.2 Potencial de Acidificação (PA)

A acidificação de solos e água ocorre predominantemente através da transformação de poluentes atmosféricos em ácidos. O dióxido de enxofre (H₂SO₄) e o óxido de azoto (HNO₃) produzem as contribuições mais relevantes danificando não somente os ecossistemas, mas também edifícios e outras construções humanas. O potencial de acidificação é dado em equivalentes de dióxido de enxofre (SO₂ eq) e é descrito como a capacidade de certas substâncias para captar e libertar iões H⁺ [42].

3.4.3 Potencial de Eutrofização (PE)

A eutrofização consiste no enriquecimento de nutrientes de um determinado ecossistema, referindo-se normalmente a corpos de água parada como lagos ou albufeiras e barragens. Poluentes atmosféricos, águas residuais e fertilizantes, no caso da agricultura, contribuem para a eutrofização. A Eutrofização terrestre define-se como a nutrição excessiva em nitrato dos solos, que por sua vez, por meio de lixiviação, aumenta o teor de nitrato nas

águas subterrâneas [42]. O potencial de eutrofização é calculado em equivalentes de fosfato (PO_4 eq).

3.4.4 Potencial de Formação de Oxidantes Fotoquímicos (OF)

A produção de ozono fotoquímico na troposfera tem impactos na vegetação, materiais, e na saúde humana, em particular ao nível respiratório. A radiação solar na presença de óxidos de azoto e hidrocarbonetos provocam reações químicas complexas, produzindo produtos de reação bastante agressivos, um dos quais o ozono. O potencial de formação de oxidantes fotoquímicos é referido em equivalentes de eteno (C_2H_4 eq) [42].

3.4.5 Potencial de Toxicidade Humana (TH)

Esta categoria diz respeito aos efeitos de substâncias tóxicas no ambiente humano. Os fatores de caracterização, potenciais de Toxicidade Humana, são calculados com o Sistema Uniforme de Avaliação de Substâncias adaptado para fins de ACV, cuja exposição e efeitos de substâncias tóxicas visa um horizonte de tempo infinito. Para cada substância tóxica, os potenciais de toxicidade humana são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno (1,4-DB eq) [43].

3.4.6 Potencial de Ecotoxicidade (ET e EAD)

A ecotoxicidade caracteriza os potenciais efeitos adversos que uma substância química causa num recetor aquático e/ou terrestre. A ecotoxicidade terrestre é dominada pelas emissões de pesticidas no solo agrícola, bem como o uso de ácido sulfúrico durante o processo de conversão [44]. Ecotoxicidade de águas doces refere-se ao impacto nos ecossistemas de água doce, como resultado das emissões de substâncias tóxicas para o ar, a água e o solo. Em ACV, o potencial de ecotoxicidade, é referido em equivalentes de 1,4-diclorobenzeno (1,4-DB eq).

3.5 Software usado

O *software* de ACV utilizado no estudo de ACV foi o OpenLCA v1.8, *software open source* criado e desenvolvido pela *GreenDelta*. O *software* tem como objetivo possuir uma estrutura modular rápida, gratuita, confiável e de alto desempenho, permitindo simplificar a modelação do ciclo de vida e a avaliação de sustentabilidade de produtos e processos. Uma das razões principais para o seu desenvolvimento foi tornar a Avaliação de Sustentabilidade e ACV mais acessível à comunidade [45] através da disponibilização de *software* sem custos para o utilizador. A existência de uma base de utilizadores crescente, a possibilidade de utilizar dados de várias fontes em particular as de acesso livre (como por exemplo a ELCD) atualmente em desenvolvimento, faz do OpenLCA um instrumento cada vez mais usado na realização de estudo de ACV nas mais diversas áreas e sectores industriais.

4 Resultados e Discussão

Neste capítulo procede-se à apresentação e discussão dos resultados do estudo de ACV, em particular os valores calculados dos impactes ambientais e os resultados dos estudos de sensibilidade. Com base nos resultados foram identificados quais os processos e/ou matérias-primas com maior contribuição para os impactes ambientais globais do processo, propondo-se posteriormente melhorias e/ou soluções para a sua redução. Adicionalmente, realizou-se uma comparação dos impactes ambientais, principalmente das emissões de carbono, entre as diversas matérias-primas constituintes da malha têxtil, tentando, tanto quanto possível, identificar as razões das diferenças observadas e como se podem relacionar com os processos de produção das malhas têxteis.

4.1 Resultados da Avaliação de Impactes de Ciclo de Vida (AICV)

São apresentados neste subcapítulo os resultados da avaliação dos impactes do ciclo de vida, AICV, que correspondem à terceira fase da metodologia descrita na norma ISO 14040 e apresentados na Figura 10. Utilizou-se o método CML 2001 (*all impact categories*), para haver coerência com os dados e resultados reportados na literatura. Na Figura 13 são apresentados e comparados os resultados para os três produtos. Os valores dos impactes ambientais foram normalizados relativamente aos valores calculados para o produto à base de PVC, por categoria de impacto ambiental, de modo a ser possível comparar diretamente na mesma figura valores de impacto ambiental. Na Figura 13 estão representados os impactes resultantes da produção dos produtos assim como os resultantes do tratamento dos resíduos modelados em SimaPro. Os valores absolutos obtidos encontram-se na Tabela 11 do Anexo B.

Os resultados mostram que os impactes ambientais são similares para os três produtos, nunca sendo superiores a 25% as diferenças entre produtos. Para a EAD 100a, é mesmo possível concluir que os produtos têm valores de impacto ambiental semelhantes, como se verifica na Figura 13.

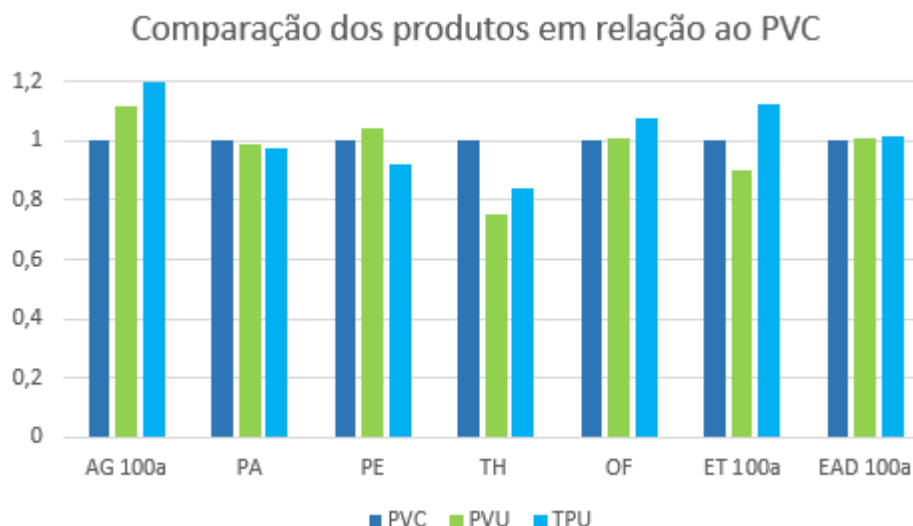


Figura 13 - Comparação dos produtos à base de PVU e TPU em relação ao produto à base de PVC

De maneira a identificar qual é o material e/ou fase de ciclo de vida dos produtos mais relevante para o impacto ambiental global do produto final analisaram-se as contribuições dos diferentes componentes e processos de produção para os três produtos considerados neste estudo. Os resultados são apresentados nas Figura 14, Figura 15 e Figura 16 para os produtos à base de PVC, PVU e TPU respetivamente. É de salientar que a Figura 14, Figura 15 e Figura 16 referem-se ao total de impactos ambientais em todas as categorias com exceção dos impactos resultantes do tratamento de resíduos, visto que os seus valores são desprezáveis quando comparados com os valores das restantes categorias.

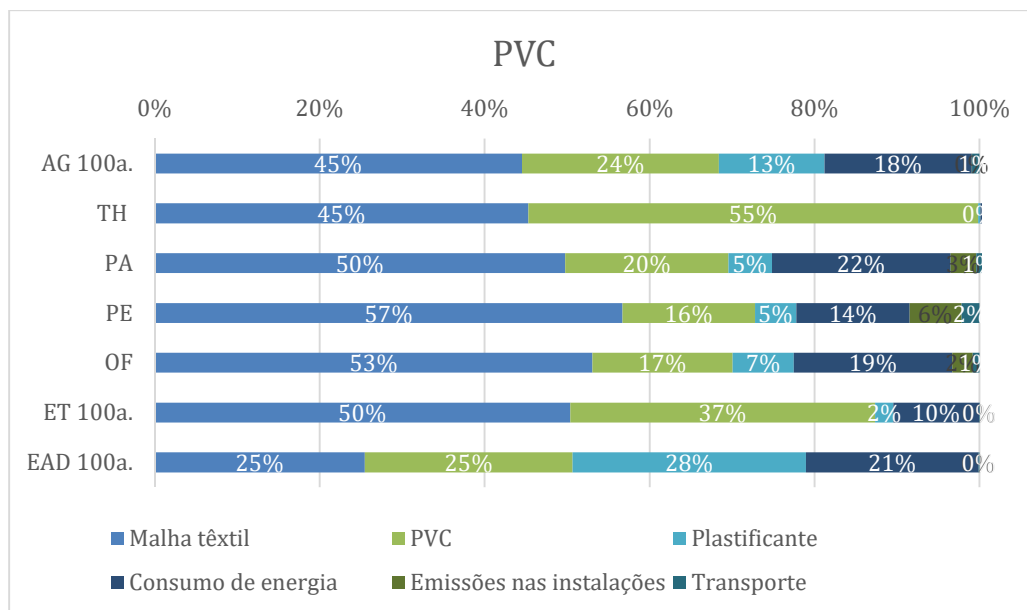


Figura 14- Contribuição dos componentes do processo de produção do produto à base de PVC nas diferentes categorias de impacto ambiental

Como se pode verificar pela Figura 14, para o produto à base de PVC é a malha têxtil o maior contribuinte para a maioria das categorias de impacto, exceto na categoria de impacto de TH (45 %) e na categoria de EAD (25 %). Este fenómeno deve-se a uma elevada quantidade de PVC de emulsão no produto à base de PVC, no caso da TH. Para o caso da EAD deve-se à energia consumida na produção do plastificante.

O segundo maior contribuidor para todas as categorias de impacto ambiental é o PVC de emulsão, sendo a energia consumida na sua produção a responsável. Tal não se verifica na categoria de OF onde o consumo energético aquando da produção do produto à base de PVC, é o segundo maior contribuidor de impacto ambiental. O consumo energético é o terceiro termo mais relevante, com exceção na categoria de impacto TH, sendo os restantes impactos ambientais pouco significativos.

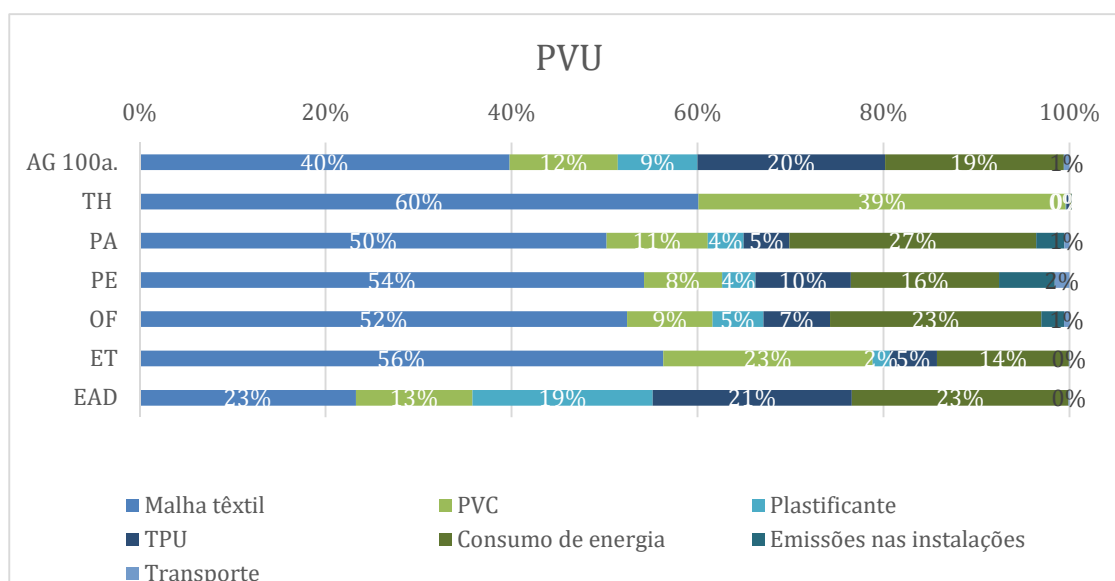


Figura 15- Contribuição do processo de produção do produto de PVU nas diferentes categorias de impacto

Para o produto à base de PVU é a malha têxtil que representa o maior contributo para todas as categorias de impacto, como se constata pela Figura 15. O segundo maior contribuidor de impactos ambientais é o consumo energético durante a produção do produto à base de PVU. O mesmo não se verifica nas categorias de AG 100a (19 %), em que o segundo maior contribuidor é o TPU (20 %). Na categoria de ET o segundo maior contribuidor é o PVC de emulsão (23 %). Para a categoria de EAD, à semelhança da categoria de AG 100a, o segundo maior contribuidor é o TPU (21 %). Para todos os casos é a produção do polímero o responsável.

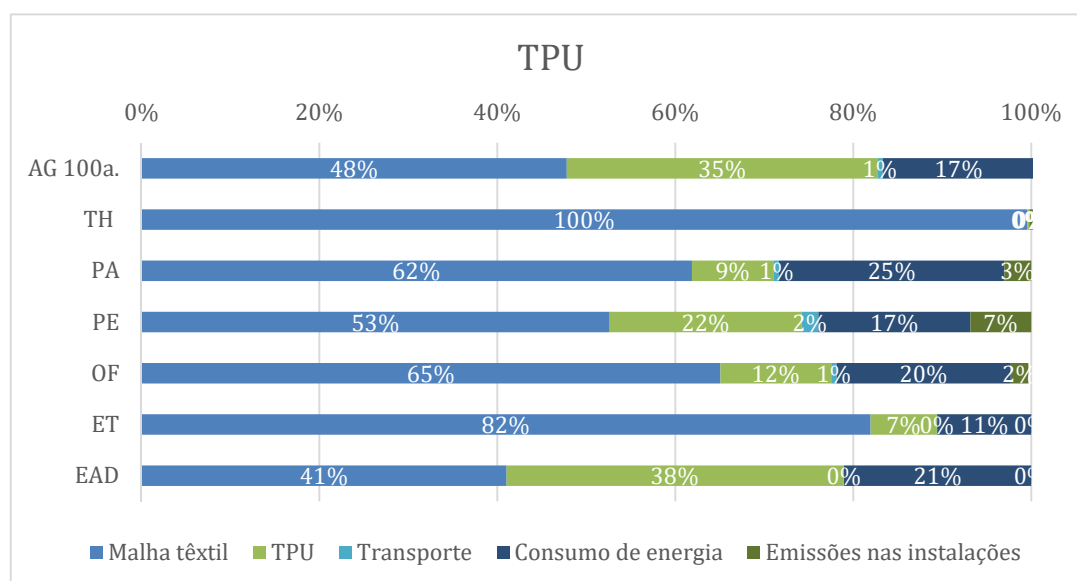


Figura 16- Contribuição dos componentes do processo de produção do produto TPU nas diferentes categorias de impacto ambiental

Para o produto à base de TPU, como se verifica pela Figura 16, a malha têxtil continua a ser o principal responsável pelos impactos ambientais de todas as categorias, sendo a única para a TH (100 %). Tal deve-se ao facto de a malha têxtil para o produto à base de TPU ser unicamente de PET. O segundo maior contribuidor para as categorias de impacto analisadas é o TPU, sendo o consumo energético para a sua produção o responsável. O mesmo não se verifica para as categorias de impacto ambiental PA (9 %), OF (12 %) e ET (38 %) em que o consumo energético aquando a produção do produto à base de TPU (25 % para PA, 20 % para OF e ET 11 %) é o segundo maior contribuidor para esta categoria de impacto ambiental.

Como se pode constatar pelas Figura 14, Figura 15 e Figura 16, a malha têxtil é o maior contributo para os impactos ambientais em todas as categorias à exceção da TH para o caso do produto à base de PVC. A importância relativa da energia consumida varia dependendo da categoria de impacto, mas normalmente é a segunda mais relevante. No geral o transporte é quase insignificante em comparação com os outros fatores, tendo um contributo similar em cada um dos produtos.

4.1.1 AG 100a

O maior impacto na categoria de AG 100a dos produtos à base de TPU e PVU face ao produto à base de PVC, como se pode observar na Figura 13, deve-se ao maior consumo de eletricidade da fase de extrusão do TPU assim como na sua produção. Como apresentado na Figura 14, Figura 15 e Figura 16, para todos os produtos, a malha têxtil apresenta o maior contributo para esta categoria de impacto (45 % desses impactos para o PVC, 40 % para o PVU e 48 % para o TPU), onde o consumo de energia elétrica durante o processo de fabrico da malha têxtil é o maior contribuidor para este resultado, seguido da produção da fibra de PET e de algodão.

4.1.2 TH

Como se pode verificar pela Figura 13, a maior diferença entre os três produtos é observada na categoria de TH. O produto à base de PVC apresenta impactos mais significativos que os produtos à base de PVU e TPU, devido à maior quantidade de PVC de emulsão presente no primeiro produto e à exclusão total de PVC de emulsão no produto de TPU. A síntese de PVC de emulsão implica um elevado consumo de substâncias perigosas com efeitos nocivos para a saúde humana. A síntese de PVC exige grandes quantidades de cloro [32], e dependendo do processo usado são usadas também substâncias tóxicas, em particular o amianto e o mercúrio. Em acréscimo, a produção do dicloroetileno, seguido do cloreto de vinilo geram dioxinas, substâncias altamente tóxicas e cancerígenas para os seres humanos [46].

4.1.3 PA

Como se verifica na Figura 13, os três produtos têm valores de PA muito similares. O maior contribuinte para a categoria de impacte ambiental de PA, apresentado na Figura 14, Figura 15 e Figura 16, em todos os casos deve-se novamente à malha têxtil (50 % desses impactes para o produto à base de PVC e PVU e 62 % para o TPU), devido ao elevado consumo elétrico durante o processo de fabrico da malha têxtil, seguido da produção das fibras de PET e posteriormente às de algodão. No caso do PET, o consumo energético necessário à produção das fibras é dos maiores contribuidores para a acidificação. Para o algodão, a acidificação é fortemente afetada pelas emissões de NH_3 das operações de cultivo, sendo o uso de fertilizantes, irrigação e o uso do trator as maiores fontes de NH_3 [36]. A produção da fibra de algodão, devido ao consumo energético, também contribui para a acidificação.

4.1.4 PE

No caso do PE, de acordo com as Figuras 14 a 16, a malha têxtil continua a ser o maior contribuidor de impacte ambiental (57 % para o PVC, 54 % para o PVU e 53 % para o TPU), devido à produção de fibras de algodão, no caso do produto à base de PVC e no produto à base de PVU. No caso do produto à base de TPU deve-se à produção de fibras de PET. Como a eutrofização é influenciada sobretudo pelas emissões de nutrientes para a água, os sistemas agrícolas são um dos maiores contributos para este impacte. O escoamento superficial de nitrato e fósforo, provenientes de fertilizantes, contribui para a eutrofização e pode ser um problema ambiental local dependendo das condições particulares climáticas, solo, e de nitrogénio disponível para lixiviação [36].

No caso do produto à base de TPU, o consumo de energia elétrica continua a ser o maior contribuidor para o PE. Como se pode observar na Figura 13, o produto à base de TPU apresenta menor PE, devido ao facto da malha têxtil ser 100 % PET, e assim não haver emissões de nutrientes para a água provenientes dos sistemas agrícolas. Em contrapartida, o produto à base de PVU apresenta maior PE devido ao maior consumo energético na sua produção.

4.1.5 OF

De acordo com a Figura 14, Figura 15 e Figura 16, a malha têxtil continua a ser o maior contribuidor de impacte ambiental (53 % desses impactes para o produto de PVC, 52 % para o PVU e 65 % para o TPU), onde o consumo de energia elétrica durante o processo de fabrico da malha têxtil é o maior contribuidor para este resultado, seguido da produção da fibra de PET e de algodão.

Na Figura 13 constata-se que o produto à base de TPU apresenta maior impacte para a categoria de OF devido à malha têxtil 100 % PET, sendo que a energia necessária para a produção das fibras de PET o maior responsável nos impactes na categoria de OF.

O produto à base de PVU apresenta maior impacto em relação ao de base de PVC, uma vez que o produto de PVU consome mais energia na fase de extrusão do TPU.

4.1.6 ET e EAD 100a

Pela Figura 14, Figura 15 e Figura 16, a malha têxtil continua a ser o maior contribuidor de impacto ambiental para a ET 100a (50 % desses impactos para o produto de PVC, 56 % para o PVU e 82 % para o TPU), onde o consumo de energia elétrica durante o processo de fabrico da malha têxtil é o maior contribuidor para este resultado, seguido da produção da fibra de PET e de algodão.

Para a categoria de ET 100a, o produto à base de TPU é o que apresenta maior impacto em comparação com os produtos à base de PVC e PVU, devido ao facto de ser uma malha têxtil 100 % PET, onde o consumo energético é maior. O produto à base de PVC apresenta maior impacto em comparação com o produto à base de PVU, uma vez que apresenta maior quantidade de PVC de emulsão na sua formulação.

Para a categoria de EAD 100a, todos os produtos têm impactos ambientais similares, continuando a ser a produção da malha têxtil a maior causadora deste fenómeno.

4.2 Comparação entre composições na malha têxtil dos produtos

Como se verificou anteriormente a malha têxtil é o maior contribuidor de impacto ambiental nos produtos estudados. Deste modo, possíveis ações para minimizar os impactos ambientais dos vários produtos deverão focar-se inicialmente na malha têxtil. Desse modo, realizou-se uma análise à malha têxtil de gramagem conhecida da TMG Automotive, em que se variam as proporções e as matérias-primas usadas. De maneira a baixar os impactos dos produtos foram estudadas também as contribuições do uso de malhas do tipo algodão orgânico e/ou de PET reciclado.

Face à impossibilidade de contactar fornecedores de fio e malha têxtil de algodão orgânico e de PET reciclado, e de aceder a bases de dados de inventário de ciclo de vida dessas matérias-primas, foi necessário fazer uma revisão da literatura existente na área.

Para o algodão orgânico usaram-se resultados do estudo de ACV elaborado pela *Textile Exchange* [26], que determinou o impacto ambiental da produção de fibras de algodão orgânico. O estudo, publicado em 2014, foi desenvolvido segundo as normas ISO 14040, tendo sido revisto por entidades acreditadas. Modelaram-se os processos de *foreground* com base em informação recolhida diretamente dos intervenientes da cadeia produtiva do algodão orgânico, enquanto os de *background* foram obtidos através da base de dados de inventário incluído com o *software* de ACV GaBi 6.3. O estudo analisou a fase de produção de fibras de algodão orgânico (agricultura e descaroçamento de algodão), cujos impactos de ciclo de vida foram calculados

segundo a metodologia CML 2001 (all impact categories), sendo estes apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Impactes ambientais para a produção de fibras de algodão orgânico determinado pela Textile Exchange [26]

Categoria de impacte ambiental	Unidades	Produção de fibras de algodão orgânico (unidade funcional = 1 kg fibras)
AG 100a	kg CO ₂ eq	0,978
PA	kg SO ₂ eq	5,7x10 ⁻³
PE	kg PO ₄ ³⁻	2,8x10 ⁻³
Consumo de <i>blue water</i>	Kg	182
Consumo de Energia Primária	MJ	5,759

Para as fibras de PET reciclado, recorreu-se novamente ao estudo de ACV, elaborado pelo departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht na Holanda [23], que determinou o impacte ambiental da reciclagem de garrafas de PET em fibras têxteis. Os processos de *foreground* foram modelados com base em informação recolhida diretamente de produtores de fibra de PET reciclado, enquanto os de *background* foram obtidos através de bases de dados do Ecoinvent 2.0. O estudo inclui as fases de reciclagem mecânica, semi mecânica e química das garrafas de PET em fibras, cujos impactes de ciclo de vida foram calculados segundo a mesma metodologia CML 2001 (*all impact categories*), sendo os resultados do estudo apresentados na Tabela 8. É de salientar que para este projeto, foram apenas considerados os impactes relativos à reciclagem mecânica, uma vez que, é a mais usual e mais utilizada pelos produtores de fibra [23]. Segundo fonte da empresa, para a produção de fibras de PET reciclado, o consumo de *blue water* é 8,5 % do consumo de fibras de PET [5].

Tabela 8 - Impactes ambientais para a produção de fibras de PET reciclado mecanicamente determinado pelo departamento de Ciência, Tecnologia e Sociedade da Universidade de Utrecht [23]

Categoria de impacte ambiental	Unidades	Produção de fibras de PET reciclado (unidade funcional = 1 kg fibras)
AG 100a	kg CO ₂ eq	0,96
PA	kg SO ₂ eq	3x10 ⁻³
PE	kg PO ₄ ³⁻ eq	8x10 ⁻⁴
Depleção Abiótica (DA)	kg Sb eq	0,006
TH inf	kg 1,4-DB eq	0,362
EAD	kg 1,4-DB eq	0,296
ET	kg 1,4-DB eq	7x10 ⁻³
OF	kg C ₂ H ₄ eq	2x10 ⁻⁴
Consumo de <i>blue water</i>	kg	2,635
Consumo de Energia Primária	MJ	13

Para a produção da malha têxtil, tanto para algodão orgânico como para PET reciclado, recorreu-se novamente aos resultados de impacte ambiental do estudo da *Cotton Incorporated*

de produção de um têxtil de algodão [36], como referido na Secção 3.3.1 assumindo que o processo era similar para ambos os materiais.

Como se pode verificar pela Tabela 7 e Tabela 8, a síntese das fibras de PET reciclado requer um menor consumo de *blue water*, PA e PE em comparação com o algodão orgânico, daí, no geral apresentar menores impactes ambientais para a malha têxtil de gramagem conhecida.

Para avaliar a influência da composição da malha têxtil foram analisadas as seguintes combinações de composição da malha têxtil:

1. 100 % PET, PET reciclado, algodão e algodão reciclado: 4 composições.
2. 65 % algodão combinado com 35 % PET ou 35 % PET reciclado: 2 composições.
3. 35 % algodão combinado com 65 % PET ou 65 % PET reciclado: 2 composições.
4. 65 % algodão orgânico com 35 % PET ou 35 % PET reciclado: 2 composições.
5. 35 % algodão orgânico com 65 % PET ou 65 % PET reciclado: 2 composições.

Na tabela 9 são apresentados e comparados os valores das categorias ambientais AG 100a, PA e PE. De salientar que os vários grupos de composições foram agrupados na Tabela 9 da mesma forma que foram listados acima, e cada um possui um número específico. Apenas foram consideradas essas categorias de impacto ambiental visto terem sido as únicas categorias de impacto consideradas nos estudos analisados anteriormente, tendo sido efetuadas as conversões de unidades e os ajustes necessários à unidade funcional usada neste trabalho. Utilizou-se o método CML 2001 (*all impact categories*), para haver coerência de dados com a literatura utilizada e permitir a sua utilização neste trabalho.

Tabela 9 - Variação dos valores de impacto em função da composição da malha têxtil

Composição Malha		Categorias de Impacte Ambiental		
		AG 100a (kg CO ₂ eq)	PA (kg SO ₂ eq)	PE (kg PO ₄ ³⁻ eq)
1	100 % PET virgem	1,993	1,24x10 ⁻²	7,60x10 ⁻⁴
2	100 % PET reciclado	1,574	9,44x10 ⁻³	7,01x10 ⁻⁴
3	100 % algodão	1,623	1,19x10 ⁻²	1,65x10 ⁻³
4	100% algodão orgânico	1,577	9,88x10 ⁻³	9,76x10 ⁻⁴
5	65 % algodão; 35 % PET virgem	1,753	1,21x10 ⁻²	1,34x10 ⁻³
6	65% algodão; 35% PET reciclado	1,606	1,11x10 ⁻²	1,32x10 ⁻³
7	35 % algodão; 65 % PET	1,863	1,22x10 ⁻²	1,07x10 ⁻³
8	35% algodão; 65% PET reciclado	1,591	1,03x10 ⁻²	1,04x10 ⁻³
9	65% algodão orgânico; 35% PET virgem	1,722	1,08x10 ⁻²	9,01x10 ⁻⁴
10	65% algodão orgânico; 35 % PET reciclado	1,576	9,72x10 ⁻³	8,82x10 ⁻⁴

11	35% algodão orgânico; 65 % PET virgem	1,847	$1,15 \times 10^{-2}$	$8,36 \times 10^{-4}$
12	35 % algodão orgânico; 65% PET reciclado	1,575	$9,59 \times 10^{-3}$	$8,01 \times 10^{-4}$

Comparando os resultados de todos os casos, é possível concluir que a malha têxtil com 100% de PET reciclado possui os menores impactes ambientais para todas as categorias ambientais consideradas. No entanto, as diferenças para alguns casos são pequenas.

Para malhas com 100 % de PET (linhas 1-2) é possível observar que a utilização de material reciclado resulta em valores dos impactes ambientais menores, devido ao processo de reciclagem ser mais simples e não envolver a produção de monómeros e a polimerização destes. Esta redução é mais significativa para AG 100a e PA (cerca de 22 %), do que para PE (cerca de 7,8 %). Esta diferença é explicada pelo maior consumo de energia para a produção de PET virgem, que envolve produção dos monómeros etileno glicol e ácido tereftálico, processos petroquímicos com elevado consumo de energia (44 MJ em combustíveis fósseis por kg de etileno glicol e 49 MJ em combustíveis fósseis por kg de ácido tereftálico, valores obtidos pelo SimaPro) e que não existem no processo para obter PET reciclado.

É possível constatar uma situação similar para outros casos com a substituição de PET virgem por PET reciclado (linhas 5-6, linhas 7-8, linhas 9-10 e linhas 11-12), sendo que as reduções percentuais dos valores dos impactes ambientais são menores e dependentes da percentagem e tipo de algodão, sendo superiores quando a percentagem de PET é maior, novamente explicado pela redução do consumo de energia aquando da produção de fibras de PET reciclado. O aumento do valor de PA com o aumento de PET virgem deve-se também à energia consumida durante o processamento das fibras virgens de PET, o maior responsável por este fenómeno [23].

Para malhas constituídas por 100 % de algodão (linhas 3-4) observa-se que o algodão orgânico tem valores de impacte ambiental menores que o algodão convencional. As diferenças são pouco significativas para a categoria ambiental AG 100a (cerca de 2,8 %) mas são significativas para as restantes categorias de impacte ambiental (17 % e 40,8 % para PA e PE respetivamente). O resultado para AG 100a pode ser justificado pelo menor consumo de energia para a produção de fibras de algodão orgânico, mas que é pouco significativo visto que o termo dominante do consumo de energia em todos os casos é a produção da malha têxtil [47]. Por outro lado, o facto de a malha têxtil de algodão orgânico ter um menor consumo de *blue water*, não incluir pesticidas e fertilizantes sintéticos e possuir um cultivo mais controlado, consequentemente vai apresentar impactes ambientais menores em comparação com uma malha têxtil de algodão convencional [26].

Do mesmo modo que foi observado com o PET, a substituição de algodão normal por algodão orgânico (linhas 5-9, 6-10, 7-11, e 8-12) reduz os valores dos impactos ambientais. As mesmas tendências de redução dos impactos ambientais são observadas, menores para AG 100a, e superiores para PA e PE, sendo superiores quanto maiores for a percentagem de algodão.

Comparando agora a substituição de algodão convencional por algodão orgânico com a substituição de PET virgem por PET reciclado (por exemplo linhas 5-6 com linhas 5-9), algumas diferenças significativas podem ser observadas. Em particular, a redução nos valores de AG 100a são mais significativas para a substituição de PET por PET reciclado do que a substituição de algodão convencional por algodão orgânico. Como se referiu anteriormente, a produção de PET reciclado não inclui passos com forte intensidade energética, o que não ocorre com a mudança de algodão convencional para algodão orgânico. Para as categorias de impacto ambiental PA e PE observa-se a situação oposta, com maiores reduções para a substituição do tipo de algodão do que a substituição de tipo de PET. Tal deve-se à não utilização de pesticidas e fertilizantes sintéticos no cultivo de algodão orgânico, permitindo uma maior redução dos valores desses indicadores ambientais.

Adicionalmente compararam-se também o produto à base de PVC com malha têxtil 35 % algodão e 65 % PET da TMG Automotive, apresentado e analisado no Capítulo 4.1, com o produto à base de PVC com malha têxtil de 35 % algodão e 65 % PET reciclado, e o produto à base de PVC com 100% de PET reciclado, que de acordo com os resultados apresentados na tabela 9, sendo que o último apresenta menores impactos ambientais. Os resultados da comparação são apresentados na Figura 17 para as categorias de impacto ambiental AG 100a, PA e PE.

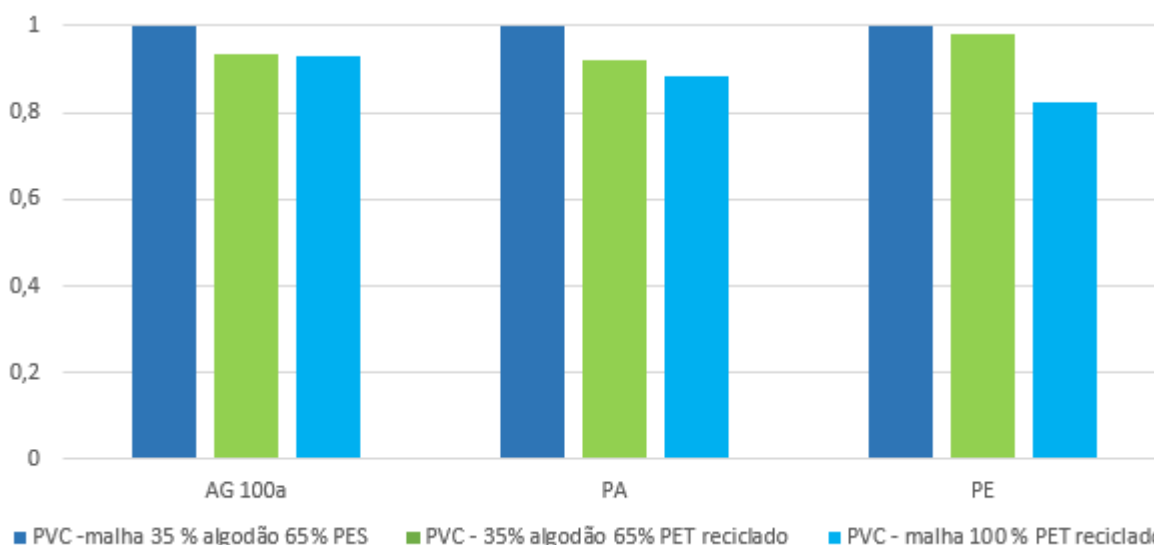


Figura 17- Comparação do produto à base de PVC com malha 100 % PET reciclado e mistura 35 % algodão 65 % PET reciclado em relação ao produto de PVC da TMG Automotive

Observa-se para o produto à base de PVC com malha têxtil 100 % PET reciclado uma diminuição de aproximadamente 7 % para a categorias de impacto de AG 100a, 12 % no caso do PA e aproximadamente 18 % para o PE. Para o produto à base de PVC com malha têxtil de mistura de 35 % algodão e 65 % PET reciclado, verifica-se uma diminuição 7 % para as categorias de impacto de AG 100a, 8 % no caso do PA e cerca de 2 % no PE. Estes resultados confirmam que a utilização de PET reciclado é vantajosa e permite reduzir o impacto ambiental dos produtos da TMG Automotive.

5 Conclusões

A presente dissertação teve como objetivo principal fazer um estudo ACV dos produtos à base de PVC, TPU e PVU produzidos e comercializados pela TMG Automotive, aprofundando e refazendo o estudo preliminar.

Utilizou-se o método CML 2001 para o cálculo dos impactos ambientais, usando-se o mais possível informação primária dos processos da empresa complementada com bases de dados e literatura para a modelação das matérias-primas, transporte, emissões e resíduos gerados. Dos resultados do estudo podemos concluir que:

- O produto à base de PVC apresenta maior impacto ambiental na categoria de Potencial de Acidificação e Toxicidade Humana devido ao facto de conter mais PVC de emulsão na sua constituição, onde o consumo energético na sua produção e libertação de dioxinas na produção de PVC de emulsão, tóxicas à saúde humana, são os maiores contribuidores de impacto ambiental, respetivamente;
- O produto à base de PVU apresenta maior impacto ambiental no Potencial de Eutrofização devido ao maior consumo energético na sua produção;
- O produto à base de TPU apresenta maiores impactos ambientais nas categorias de Aquecimento Global 100a, Oxidação Fotoquímica e Ecotoxicidade Terrestre devido ao facto de possuir uma malha têxtil 100 % PET, onde o consumo energético aquando a produção das fibras de PET é o maior contribuinte de impactos ambientais;

Segundo estudo preliminar, a malha têxtil é o componente que mais contribui para os impactos ambientais dos produtos à base de PVC, TPU e PVU, facto este confirmado na presente dissertação. Nesta dissertação conclui-se que a produção da malha têxtil é a fase de ciclo de vida que mais contribui para o aumento dos impactos ambientais de todas as categorias, à exceção do produto à base de PVC na categoria de Toxicidade Humana, sendo que a produção de fibras PET apresenta um maior contributo que a produção de fibras de algodão.

Sendo a malha têxtil a matéria-prima que mais contribui para os impactos ambientais, realizou-se uma análise de sensibilidade, onde se variou a composição da malha têxtil com o intuito de encontrar uma solução que reduza os impactos ambientais dos produtos estudados. Dos resultados da análise foi possível concluir que:

- A malha têxtil 100 % PET reciclado apresenta os menores impactos ambientais para as categorias de Aquecimento Global 100a, Potencial de Acidificação e Potencial de Eutrofização, uma vez que a produção das fibras não inclui a produção dos monómeros constituintes do PET e do próprio polímero, passos que não ocorrem na produção de PET reciclado;

- A malha 100 % PET apresenta os maiores impactos ambientais quando comparada com as outras matérias-primas estudadas, uma vez que contabiliza a produção dos seus monómeros constituintes e processos petroquímicos associados a um elevado consumo energético;
- Quanto maior a percentagem de matéria-prima virgem, algodão e PET, maior o impacto na categoria de Aquecimento Global 100a;
- Quanto maior a percentagem de PET virgem maiores os impactos nas categorias de Aquecimento Global 100a e Potencial de Acidificação, onde a energia necessária ao processamento das fibras é o fator mais relevante;
- Quanto maior a percentagem de algodão, tanto convencional como orgânico, maior o impacto ambiental na categoria de Potencial de Eutrofização, uma vez que a cultura do algodão implica a adição de nutrientes no solo e na água, que é o maior contribuidor para o Potencial de Eutrofização;
- A produção das fibras de algodão orgânico, em comparação com algodão convencional, apresenta menores impactos ambientais uma vez que é um cultivo do algodão mais controlado e sem a utilização de pesticidas e fertilizantes químicos;
- A produção da malha têxtil apresenta mais impactos ambientais que a produção das fibras no geral, devido a um aumento do consumo energético.

De maneira a reduzir os impactos do produto à base de PVC, comparou-se o produto à base de PVC atual da empresa com o produto à base de PVC com uma malha têxtil 100 % PET e produto à base de PVC com uma mistura de 35 % algodão e 65 % PET reciclado. Para o produto à base de PVC com malha têxtil 100 % PET reciclado verifica-se uma diminuição de aproximadamente 7 % para as categorias de impacto de Aquecimento Global 100a, 12 % no caso do Potencial de Acidificação e aproximadamente 18 % para o Potencial de Eutrofização. Para o produto à base de PVC com malha têxtil de mistura de 35 % algodão e 65 % PET reciclado, verifica-se uma diminuição de 7 % para as categorias de impacto de Aquecimento Global 100a, 8 % no caso do Potencial de Acidificação e cerca de 2 % no Potencial de Eutrofização.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

Os objetivos propostos no início da presente dissertação foram concretizados.

Realizou-se o estudo de ACV dos produtos à base de PVC, TPU e PVU da TMG Automotive, tendo-se identificado que a produção da malha têxtil é a fase de ciclo de vida que mais contribui para os impactes ambientais.

Complementou-se o estudo de ACV com uma análise de sensibilidade à variação na composição da malha, de modo a apresentar à empresa soluções que permitam minimizar os impactes ambientais dos produtos em estudo.

Foi desenvolvido um questionário em MS ExcelTM para preenchimento por parte dos fornecedores da TMG Automotive, para recolha de informação sistematizada das matérias-primas. O mesmo não teve aplicação neste projeto, no entanto será utilizado numa fase posterior da ACV para aumentar a robustez do estudo.

6.2 Outros Trabalhos Realizados

No decorrer da dissertação foram realizados outros trabalhos para além dos esperados:

- Realizou-se uma reunião com um dos fornecedores da empresa, que consistiu na exposição do projeto e resultou na obtenção de alguns dados do processo de fabrico da malha têxtil.

6.3 Apreciação Final

Concluindo esta dissertação é possível afirmar que o resultado final é positivo. Os estudos de ACV realizados permitiram avaliar qual é o desempenho ambiental dos produtos da TMG Automotive, e identificar soluções para mitigar alguns dos impactes ambientais. Em particular, foi possível identificar, a partir dos resultados do estudo de ACV e respetiva análise de sensibilidade, a melhor solução do ponto de vista de impacto ambiental para os materiais em estudo com a utilização de malhas têxteis alternativas.

6.3.1 Limitações e Trabalhos Futuros

Este trabalho teve algumas limitações relacionadas com a obtenção dos dados necessários para a realização da ACV, dado a complexidade de obtenção dos mesmos assim como por questões de confidencialidade.

O tempo disponível para realizar este trabalho foi uma grande limitação, uma vez que os fornecedores necessitam de tempo para a recolha da informação pretendida.

Outra limitação consistiu na não utilização de bases de dados de ACV de fibras de PET reciclado e algodão orgânico por acarretar custos significativos, daí terem sido utilizados dados da literatura. Em ACV é necessário ter em atenção a credibilidade dos estudos encontrados na literatura, o que se torna uma limitação. Foram usados apenas estudos de ACV que foram sujeitos a revisões críticas por entidades especializadas, de modo a assegurar a fiabilidade dos dados e resultados dos mesmos.

Quanto ao método de cálculo dos impactes ambientais, o CML 2001 apresenta algumas limitações relativamente à reduzida diversidade de categorias de impacte.

Os trabalhos futuros podem incidir na:

- Implementação e revisão do questionário para os fornecedores;
- Baixar o *cut-off* de 5 % para 2 % numa próxima fase;
- Fazer a Declaração Ambiental de Produto (DAP) dos produtos à base de PVC, PVU e TPU da TMG Automotive.

7 Referências

- [1] S. Ecobilan, Overview of Life Cycle Assessment Studies in the automotive sector., Institute for Prospective Technological Studies Seville, 1996.
- [2] C. Wu, Renewable resource based composites of recycled natural fibres and meleated polyactide bioplastic: Characterization and biodegradability, Polymer Degradation and Stability, 2009.
- [3] W. Fung, Textiles in automotive engineering, The Textile Institute. Woodhead Publishing Limited, 2001.
- [4] N. Silva, “BEI apoia portuguesa TMG Automotive com empréstimo de 25 milhões,” *Jornal Económico*, 2018.
- [5] TMG, Comunicação pessoal, Portugal: TMG Automotive, 2019.
- [6] “O setor automóvel em números,” ACAP, [Online]. Available: <http://www.acap.pt/conheca-a-importancia-do-sector-automovel-emporugal.html?MIT=36493>. [Acedido em 14 02 2019].
- [7] A. P. Global, “Indústria Têxtil e de Vestuário - Uma referência a nível mundial,” *Portugal Global*, vol. 113, pp. 4-21, 2018.
- [8] M. Messagie, C. Macharis e J. Mierlo, “Kye outcomes from Life Cycle Assessment of vehicles, a state of the art literature review,” EVS27, 2013.
- [9] A. Mayyas, M. Omar e A. Qattawi, “Design for sustainability in automotive industry: A comprehensive review Renewable and Sustainable Energy Reviews,” *Elsevier*, vol. 16(4), pp. 1845-1862, 2012.
- [10] A. Marquês, Seleção de Ferramenta para Avaliação do Desempenho Ambiental de Produtos. Estudo de Caso na Indústria Automóvel, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.
- [11] I. P. d. Qualidade, Norma Portuguesa. Rótulos e declarações ambientais Declarações ambientais tipo III princípios e procedimentos, IPQ, 2009.
- [12] A. AG, Life Cycle Assessment Audi Looks one step ahead, Audi AG, 2011.
- [13] Toyota, The Mirai Life Cycle Assessment, Toyota, 2015.

- [14] Dinamica, Recycled PET microfibre for the internal coverings for the automotive sector, MIKO, 2016.
- [15] EPD, Nonwovens for clothing, protective clothing and upholstery product category classification, International EPD System, 2011.
- [16] L. Nunes e W. Ormanji, Tecnologia do PVC, Braskem:ProEditores Associados Ltda, 2006.
- [17] D. Kopeliovich, “Extrusion and injection molding of Polymers,” SubsTech, [Online]. Available:
http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=injection_molding_of_polymers..
 [Acedido em 09 04 2019].
- [18] R. Shishoo, Textile advances in the automotive industry, The Textile Institute. Woodhead Publishing Limited, 2015.
- [19] R. Sinclair, Textile and fashion Materials, Design and Technology, The Textile Industry. Woodhead Publishing Limited, 2015.
- [20] “How Products are made,” Yarn, [Online]. Available:
<http://www.madehow.com/Volume-3/Yarn.html>. [Acedido em 20 02 2019].
- [21] M. Araújo, Manual de Engenharia Têxtil, Calouste Gulbenkian, 1986.
- [22] “Making a material difference,” PerPETual Global Technologies Ltd., [Online]. Available:
<https://www.perpetual-global.com/manufacturing/?v=35357b9c8fe4#our-vision>.
 [Acedido em 06 03 2019].
- [23] L. Shen, E. Worrell e M. Patel, “Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, pp. 34-52, 2010.
- [24] T. Santanderina, “Weaving Sustainability,” [Online]. Available:
<https://textilsantanderina.com/weaving-sustainability/>. [Acedido em 13 03 2019].
- [25] “Organic Cotton is better for the environment,” The Textile Exchange, [Online]. Available: <http://aboutorganiccotton.org/organic-farming-system/>. [Acedido em 17 05 2019].
- [26] D. Thylmann, Life Cycle Assessment (LCA) of Organic Cotton, Textile Exchange , 2014.
- [27] I. P. d. Qualidade, Norma Portuguesa de Gestão Ambiental Avaliação do ciclo de vida Principios e enquadramento, IPQ, 22008.

- [28] I. P. d. Qualidade, Norma Portuguesa Gestão Ambiental Avaliação do ciclo de vida Requisitos e linhas de orientação, IPQ, 2010.
- [29] E. C. -. J. R. C. I. f. E. a. Sustainability, International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General Guide for Life Cycle Assessment- Detailed guidance, Luxemburgo: Publicationbs Office of the European Union , 2010.
- [30] L. G. Sven, “Life Cycle assessment of food waste management options,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 13(3), pp. 275-286, 2005.
- [31] A. d. P. L. Santos e D. S. Fernandes, ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL GERADOS NO CICLO DE VIDA DE UM, Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, 2012.
- [32] “PlasticsEurope e ECVI (2015) Vinyl chloride (VCM) and Polyvinyl chloride (PVC).,” The European Council of Vinyl Manufacturers, [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>. [Acedido em 19 03 2019].
- [33] “ECPI (2015) Eco-profiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers - Di-isononyl phthalate,” Council for Plasticisers and Intermediates, [Online]. Available: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/ecoprofiles>. [Acedido em 19 03 2019].
- [34] “Process data set: Thermoplastic polyurethane (TPU, TPE-U) adhesive; reaction of methylene diisocyanate and polyether polyol; production mix, at plant; 66.5% methylene diisocyanate, 33.5% polyether polyol (en),” GaBi databases, [Online]. Available: <http://gabi-documentation-2018.gabi-software.com/xml-data/processes/6fddf9a8-90b0-463e-a0c3-35e7bffe056a.xml>.
- [35] A. Freitas, G. Zhang e R. Mathews, Water Footprint Assessment of polyester and viscose and comparsion to cotton, C&A, 2017.
- [36] J. Jewell, C. Koffler e S. Murphy, LCA Update of Cotton Fibre and Fabric Life Cycle Inventory, Thinkstep AG and Cotton Incorporated, 2017.
- [37] “Electricity Mix; AC; consumption mix, at consumer; 230V (Location: PT),” [Online]. Available: <https://data.europa.eu/euodp/data/dataset/jrc-eplca-f19d5cc5-9c0b-466a-9575-6b0d07e022a3>. [Acedido em 15 03 2019].
- [38] “Natural Gas; from onshore and offshore production incl. pipeline and LNG transport; consumption mix, at consumer; desulphurised (Location: EU-27),” [Online]. Available: <http://data.europa.eu/euodp/data/dataset/jrc-eplca-3d602e55-aaa2-44e3-adb9-40f49eb1a915>. [Acedido em 17 03 2019].

- [39] “Lorry transport; Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix; 22 t total weight, 17,3 t max payload (Location: RER),” [Online]. Available: <https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/jrc-eplca-b444f4d2-3393-11dd-bd11-0800200c9a66>. [Acedido em 2 04 2019].
- [40] A. Martins, “Towards sustainable wine: Comparson of two portuguese wines,” *Journal of cleaner production*, vol. 183, pp. 662-676, 2018.
- [41] A. Martins, A. Araújo, A. Graça, N. Caetano e T. Mata, “Towards sustainable wine: Comparson of two Portuguese wines,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 662-676, 2018.
- [42] Kreissig e Kümmel, Calculadora ambiental baseada no estudo “Sustentabilidade de Sistemas de Embalagem para Transportes de Frutas e Vegetais na Europa Baseado em uma Análise do Ciclo de Vida - Atualização 2009”, Stiftung Initiative Mehrweg, 2009.
- [43] S. Durante e N. Ridgway, *Life Cycle Assessment in Nanotechnology materials and manufacturing*, Micromanufacturing Engineering and Technology, 2015.
- [44] A. Borrion e F. Benyahia, *Environmental life cycle impact assessment of Gas-to-Liquid processes*, Proceedings of the 3rd Gas Processing Symposium, 2012.
- [45] openLCA, “openLCA - the Life Cycle and Sustainability Modeling Suite,” [Online]. Available: <http://www.openlca.org/openlca/>. [Acedido em 15 05 2019].
- [46] S. s. dano, “PVC, ftalatos e dioxinas,” [Online]. Available: <https://saudesemdano.org/america-latina/temas/pvc-ftalatos-dioxinas>. [Acedido em 27 05 2019].
- [47] “Process data set: Cotton fabric; technology mix; production mix, at plant; Cotton (en),” GaBi databases, [Online]. Available: <http://gabi-documentation-2019.gabi-software.com/xml-data/processes/f07f3caa-7329-41bb-85d4-fd237673416e.xml>.
- [48] “Process data set: Polyester (PET) fabric; technology mix; production mix, at plant; PET (en),” GaBi databases, [Online]. Available: <http://gabi-documentation-2019.gabi-software.com/xml-data/processes/8944e32f-aa5b-442a-9785-1910f4c3cec8.xml>. [Acedido em 22 03 2019].
- [49] F. T. Automotive, *Comunicação Pessoal*, 2019.

Anexo A - Dados para o cálculo dos Indicadores de Sustentabilidade

Tabela 10- Dados para o cálculo dos indicadores de Sustentabilidade

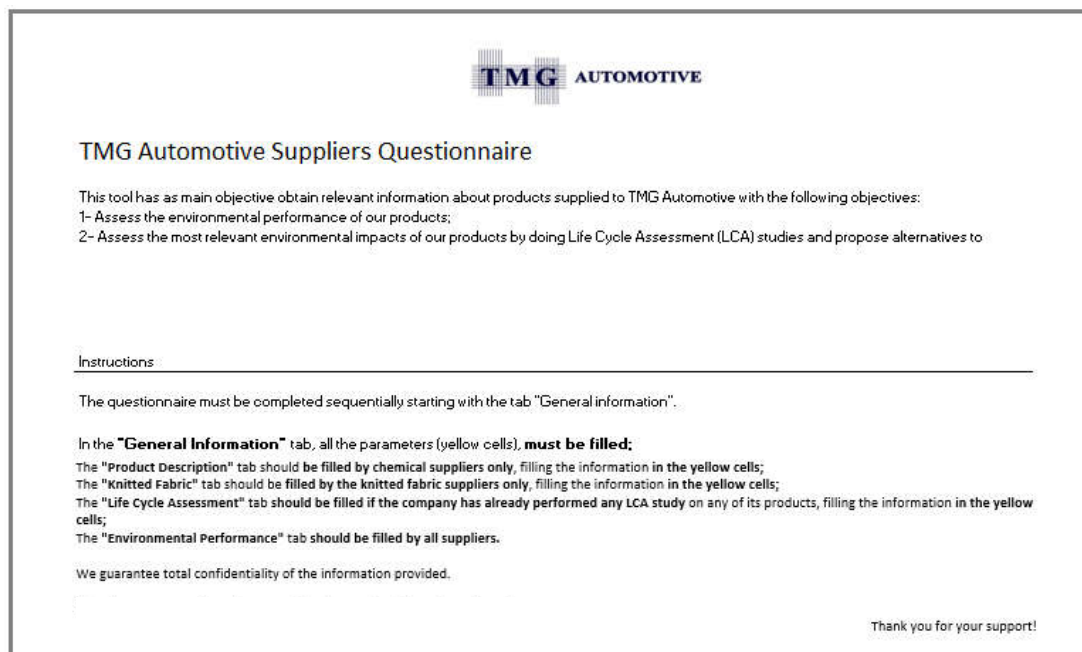
Processo	Fonte
Produção de Plastificante	Dados Secundários - PlasticsEurope [33]
Produção de PVC	Dados Secundários - Plastics Europe [32]
Produção de TPU	Dados Secundários - GaBi databases 2011 [34]
Produção de Fibras de algodão	Dados Secundários - Cotton Incorporated [36]
Produção de Fibras de poliéster	Dados Secundários - Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling [23]
Produção de Fibras de algodão orgânico	Dados Secundários - Textile Exchange [26]
Produção de Fibras de PET reciclado	Dados Secundários - Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling [23]
Produção malha têxtil	Dados Secundários - Cotton Incorporated [36]
Consumo Energético	
Consumo Energético	Dados primários da empresa [5]
Consumo de gás natural	Dados primários da empresa [5]
Consumo de combustível em transporte	Dados Secundários [39]
Emissões	Dados primários da empresa [5]
Materiais	
Produtos de limpeza	Dados primários da empresa [5]
Solventes	Dados primários da empresa [5]
Resíduos	
Papel e cartão - Reciclagem	Dados secundários - Ecoinvent 3.5
Plásticos mistos - Reciclagem	Dados secundários - Ecoinvent 3.5
Resíduos Perigosos - Incineração	Dados secundários - Ecoinvent 3.5
Resíduos Urbanos - Deposição em aterro	Dados secundários - Ecoinvent 3.5

Anexo B - Resultados de AICV dos produtos da TMG Automotive

Tabela 11 - Resultados de AICV para os produtos de PVC, PVU e TPU da TMG Automotive

Categoria de Impacte	Unidade	Produto à base de PVC	Produto PVU	Produto à base de TPU
Potencial de Aquecimento Global 100a (AG)	kg CO ₂ eq	4,13	4,63	4,95
Potencial de Acidificação (PA)	kg SO ₂ eq	0,0241	0,0239	0,0236
Potencial de Eutrofização (PE)	kg PO ₄ ³ eq	0,0021	0,0021	0,0019
Toxicidade Humana inf. (TH inf)	kg 1,4-DB eq	58,56	44,13	49,21
Oxidação Fotoquímica (OF)	kg C ₂ H ₄ eq	0,0016	0,0016	0,0017
Ecotoxicidade Terrestre 100a (ET)	kg 1,4-DB eq	0,0012	0,0011	0,0014
Ecotoxicidade de águas doces 100a (EAD)	kg 1,4-DB eq	0,15	0,15	0,15

Anexo C - Questionário para os Fornecedores da TMG Automotive



TMG AUTOMOTIVE

TMG Automotive Suppliers Questionnaire

This tool has as main objective obtain relevant information about products supplied to TMG Automotive with the following objectives:

- 1- Assess the environmental performance of our products;
- 2- Assess the most relevant environmental impacts of our products by doing Life Cycle Assessment (LCA) studies and propose alternatives to

Instructions

The questionnaire must be completed sequentially starting with the tab "General information".

In the **"General Information"** tab, all the parameters (yellow cells), **must be filled**;

The **"Product Description"** tab should be filled by chemical suppliers only, filling the information in the yellow cells;

The **"Knitted Fabric"** tab should be filled by the knitted fabric suppliers only, filling the information in the yellow cells;

The **"Life Cycle Assessment"** tab should be filled if the company has already performed any LCA study on any of its products, filling the information in the yellow cells;

The **"Environmental Performance"** tab should be filled by all suppliers.

We guarantee total confidentiality of the information provided.

Thank you for your support!

Figura 18 - Informações Gerais do Questionário aos Fornecedores da TMG Automotive

General Information			
I1	Company		
	Year of Reference	2018	
I2	Filling Date		
I3	Filled by		

Figura 19- Informações Gerais a preencher pelos Fornecedores da TMG Automotive

Product Description					
Only for chemical suppliers					
Please fill in one product per column					
Year of Reference		2018			
		Product 1	Product 2	Product 3	Product 4
	Supplied Product name:				
P1	Annual production of the supplied product (tonne) *				
P2	Product Composition (only the main compounds)				
P3	Suppliers Production Site (Country)				
P4	What percentage of total production does the product represent?				
P5	Do you use recycled raw materials?				
P6	If so, please answer the following questions:				
P7	Recyled Material Used				
P8	Percentage of recycled material in the supplied product				
*Or other convenient unit					

Figura 20- Descrição do Produto a preencher pelos fornecedores da TMG Automotive

Knitted Fabrics Information					
For knitted fabric suppliers only					
Only fill if the products are knitted fabrics, and one product per column					
Year of Reference		2018			
		Product 1	Product 2	Product 3	Product 4
Knitted Fabric supplied :					
K1	Annual production of the supplied knitted fabric (m2)				
K2	Knitted fabric composition (only main components)				
K3	Knitted fabric type (jersey, Interlock and crepe)				
K4	Percentage of the supplied product to the total quantity produced				
K5	Do you use spinning? - If yes please answer the following questions:				
K6	Types of Yarns Produced (PES, PES/CO and recycled PES)				
K7	Total PES Yarn Produced (kg)				
K8	Total PES/CO Yarn Produced (kg)				
K9	Total PES Yarn Production Energy Consumption (kWh)				
K10	Total PES/CO Yarn Production Energy Consumption (kWh)				
K11	PES Yarn Production Water Consumption (m3/kg of yarn)				
K12	CO Yarn Production Water Consumption (m3/kg of yarn)				
K13	Do you use spinning? - If NO please answer the following questions:				
K14	Suppliers Production Site (Country and city)				
K15	Transportation Used by Suppliers				
K16	Do you use PES and/or cotton in spinning? If yes , please answer the following questions:				
K17	Characteristics of Polyester used (yarn density and yarn diameter)				
K18	Characteristics of Cotton (yarn density and yarn diameter)				
K19	Do you produce 100% recycled PES knitted fabric? If Yes please answer the following questions:				
K20	Suppliers Production Site (Country)				
K21	Recycled PES Yarn Production Energy Consumption (kWh)				
K22	Recycled PES Origin (post-consumer PET bottles, etc.)				

Figura 21 - Informações a preencher por Fornecedores de malha têxtil da TMG Automotive

Life Cycle Assessment					
Only fill in if the life cycle studies have already been performed on the products supplied. One product per column.					
* If there is the document mentioned please send it together with this questionnaire					
		Product 1	Product 2	Product 3	Product 4
	Product name:				
A1	Scope of the study				
A2	System Boundaries				
A3	Functional Unit				
A4	Environmental Impacts Assessed				
A5	Study Main Conclusions				
A6	Environmental Product Statements or similar document from the LCA study *				
A7	Year the study was completed				

Figura 22- Questionário a preencher pelo Fornecedores da TMG Automotive caso já tenha realizado ACV

Environmental Performance					
One product per column. Questionnaire is divided by consumption and emissions, being differentiated situations in which there are data by product or aggregated data					
Please indicate the units of consumption / emissions					
* Extra products needed for production					
Year of Reference		2018			
If you have consumption / emissions data per product unit, please answer the following question block; In case you don't have it go to C9 question					
		Product 1	Product 2	Product 3	Product 4
	Supplied Product/knitted fabric name:				
	Consumption (annual)				
C1	Electricity (kwh)				
C2	Natural gas (Nm3)				
C3	Diesel (tonne)				
C4	Other fuels				
C5	Total water consumption (m3)				
C6	Ground Water (m3)				

C7	Quantity of consumables used (lubricating oils, cleaning products, etc.) *				
C7.1	Lubrificant used 1: _____ (m3)				
C7.2	Lubrificant used 2: _____ (m3)				
C7.3	Cleaning Product 1: _____ (m3)				
C7.4	Cleaning Product 2: _____ (m3)				
C7.5	Cleaning Solvents 1: _____ (m3)				
C7.6	Cleaning Solvents 2: _____ (m3)				
C8	Emissions of other GHG - Greenhouse Gases :				
C8.1	Particles (kg) - emission to air				
C8.2	Carbon Monoxide (kg) - emission to air				
C8.3	Chlorides (kg) - emission to water				
C8.4	Hydrogen sulfide (kg) - emission to air				
C8.5	Nitrogen oxides (kg) - emission to air				
C8.6	NM VOC (kg) - emission to air				
C8.7	Sulfur dioxide (kg)- emission to air				
C8.8	VOC (kg) - emission to air				
If you have aggregate consumption / emissions data (not per product) please answer the following questions					
Consumption (annual)					
C9	Electricity kWh)				
C10	Natural gas (Nm3)				
C11	Diesel (tonne)				
C12	Other fuels				
C13	Total water consumption (m3)				
C14	Ground Water (m3)				
C15	Quantity of consumables used (lubricating oils, cleaning products, etc.) *				
C15.1	Lubrificant used 1: _____ (m3)				
C15.2	Lubrificant used 2: _____ (m3)				
C15.3	Cleaning Product 1: _____ (m3)				
C15.4	Cleaning Product 2: _____ (m3)				
C15.5	Cleaning Solvents 1: _____ (m3)				
C15.6	Cleaning Solvents 2: _____ (m3)				
Emissions (annual)					
C16	Quantity of waste water generated (m3)				
C17	Is wastewater treated? If YES please answer the following questions:				
C17.1	What is the treatment made?				
C17.2	Quantity of waste water treated (m3)				
C17.3	Water treated conditions				
C18	CO2 Emissions (kg)				
C19	Emissions of other GHG - Greenhouse Gases - Please describe for emitted gas:				
C19.1	Particles (kg) - emission to air				
C19.2	Carbon Monoxide (kg) - emission to air				
C19.3	Chlorides (kg) - emission to water				
C19.4	Hydrogen sulfide (kg) - emission to air				
C19.5	Nitrogen oxides (kg) - emission to air				
C19.6	NM VOC (kg) - emission to air				
C19.7	Sulfur dioxide (kg)- emission to air				
C19.8	VOC (kg) - emission to air				

Figura 23 - Performance ambiental a preencher pelos Fornecedores da TMG Automotive