

**U.** PORTO

**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

**M** 2020

# **AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE UMA T-SHIRT DE ALGODÃO**

**ALGODÃO CONVENCIONAL VS ALGODÃO BIOLÓGICO**

**JOANA FERREIRA FREITAS**

DISSERTAÇÃO DE Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**ORIENTADORA**

Prof. Dr. Belmira de Almeida Ferreira Neto  
Eng<sup>a</sup>. Marina Ferreira (Grupo Valérius)

Porto, 25 de setembro de 2020

---

<i>CANDIDATO</i>		<i>Código:</i>
<i>TÍTULO</i>		
<i>DATA</i>	__ de _____ de	
<i>LOCAL</i>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	Sala __ - __: __h
<i>JÚRI</i>	<i>Presidente</i>	DEMM/FEUP
	<i>Arguente</i>	DEMM/FEUP
	<i>Orientador</i>	DEMM/FEUP

---

## *Resumo*

O presente estudo teve como principal objetivo comparar e avaliar o impacto ambiental de duas t-shirts de algodão: convencional e orgânico fabricadas por várias unidades fabris que integram o Grupo Valérius.

A avaliação de ciclo de vida foi a metodologia adotada no presente estudo, recorrendo ao software SimaPro para avaliar os impactos ambientais. As etapas de ciclo de vida avaliadas foram a produção agrícola do algodão, fiação, tecelagem, tingimento, lavandaria, corte, estamparia, confeção e embalagem.

Os dados do inventário foram fornecidos pelo grupo, à exceção da etapa de produção agrícola e fiação que foram recolhidos da bibliografia. O SimaPro permitiu a comparação dos impactos ambientais entre a t-shirt de algodão convencional e a orgânica.

O estudo permitiu concluir que a produção de uma t-shirt de algodão convencional possui uma maior contribuição para todas as categorias de impacto ambiental quando comparado com a t-shirt de algodão orgânico, devendo-se essencialmente ao consumo de fertilizantes sintéticos e pesticidas durante a produção agrícola do algodão.

Em contrapartida, na agricultura orgânica são usados fertilizantes naturais e elimina aplicação de pesticidas. Conclui-se que a etapa de produção agrícola é a etapa com maior contribuição para o impacto ambiental global seguida da etapa de tingimento e da etapa de lavandaria. A embalagem é a terceira etapa com maior contributo, sendo que as restantes etapas apresentam um contributo reduzido.

**Palavras-Chave:** Avaliação de ciclo de vida, algodão, orgânico, indústria têxtil, T-shirt de algodão.

## *Abstract*

The main objective of this study was to compare and evaluate the environmental impact of two cotton t-shirts: conventional and organic, manufactured by several manufacturing units that integrate the Valérius Group. Life cycle assessment was the methodology adopted in this study, using SimaPro software to assess environmental impacts. The life cycle stages evaluated were the agricultural production of cotton, spinning, weaving, dyeing, laundry, cutting, stamping, sewing, and packaging. The inventory data were provided by the group, except for the agricultural production and spinning stages that were collected from the bibliography. The SimaPro allowed the comparison of environmental impacts between the conventional cotton t-shirt and the organic one. The study concluded that the production of a conventional cotton t-shirt has a greater contribution to all categories of environmental impact than the organic cotton t-shirt, mainly due to the consumption of synthetic fertilizers and pesticides during the agricultural production of cotton. In contrast, natural fertilizers are used in organic agriculture and pesticide application is eliminated. It is concluded that the agricultural production stage is the stage with the greatest contribution to the overall environmental impact followed by the dyeing and laundry stages. Packaging is the third stage with the largest contribution, while the remaining stages have a reduced contribution.

**Keywords:** Life cycle assessment, cotton, organic, textile industry, cotton T-shirt.

## ÍNDICE

<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>1.1. Enquadramento</b> .....	2
<b>1.2. Objetivos</b> .....	3
<b>1.3. Estrutura e organização da tese</b> .....	4
<b>2. Caracterização das etapas de ciclo de vida da produção de t-shirts de algodão</b> .....	5
<b>2.1. Caracterização das fases do ciclo de vida das t-shirts de algodão</b> .....	5
<b>2.1.1. Produção agrícola do algodão</b> .....	6
<b>2.1.2. Processo de Fiação</b> .....	7
<b>2.1.3. Produção de malha ou tecelagem</b> .....	7
<b>2.1.4. Tingimento</b> .....	8
<b>2.1.5. Lavandaria</b> .....	8
<b>2.1.6. Corte</b> .....	9
<b>2.1.7. Estamparia</b> .....	9
<b>2.1.8. Processo de confeção</b> .....	10
<b>2.1.9. Processo de embalagem</b> .....	10
<b>2.2. Aspetos ambientais resultantes da produção de t-shirts de algodão</b> .....	10
<b>2.2.1. Consumo de água e produção de efluentes líquidos</b> .....	11
<b>2.2.2. Consumo energético</b> .....	11
<b>2.2.3. Emissões gasosas</b> .....	12
<b>2.2.4. Produção de resíduos sólidos</b> .....	13
<b>2.3. Revisão bibliográfica dos estudos de avaliação de ciclo de vida de produtos têxteis: foco no algodão</b> .....	13
<b>3. Metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida</b> .....	17
<b>3.1. Objetivo e âmbito do estudo</b> .....	18
<b>3.2. Unidade Funcional e fronteiras do sistema</b> .....	18
<b>3.3. Análise do Inventário</b> .....	21
<b>3.3.1. Produção agrícola de algodão</b> .....	21
<b>3.3.2. Produção da t-shirt de algodão</b> .....	23
<b>Etapa de fiação</b> .....	26
<b>Tecelagem</b> .....	26
<b>Tingimento e lavandaria</b> .....	27
<b>Estamparia</b> .....	28
<b>Confeção e corte</b> .....	30
<b>Embalagem</b> .....	30

<b>4. Avaliação dos impactes ambientais e discussão</b> .....	31
<b>5. Conclusões, limitações e perspectivas para trabalhos futuros</b> .....	44
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46
<b>Anexo A – Resultados do SimaPro</b> .....	49

## *Índice de Figuras*

Figura 1 - Fases do ciclo de vida da produção da t-shirt de algodão (de dois tipos diferentes: algodão convencional, biológico) produzidas pelo grupo Valérius. ....	6
Figura 2 - Teares circulares da Clothius [17]. ....	8
Figura 3- Etapas da metodologia da avaliação de ciclo de vida adaptado da norma ISO 14040 [10]. ....	17
Figura 4- Fronteiras do sistema da avaliação de ciclo de vida de um t-shirt de algodão convencional vs algodão orgânico. ....	20
Figura 5 - Comparação da t-shirt de algodão orgânico Vs algodão convencional. ....	35
Figura 6 - Contribuição relativa de cada etapa de ciclo de vida da t-shirt de algodão convencional para o impacte ambiental total. ....	36
Figura 7- Contribuição relativa da etapa de produção agrícola do algodão convencional. ....	38
Figura 8- Contribuição relativa da etapa de produção agrícola da t-shirt de algodão orgânico para o impacte ambiental total. ....	40
Figura 9-Contribuição relativa etapa de tinturaria e lavandaria da t-shirt de algodão convencional para o impacte ambiental total. ....	41
Figura 10-Contribuição relativa da etapa e embalagem da t-shirt de algodão para o impacte ambiental total. ....	43

## *Índice de Tabelas*

Tabela 1 - Problemas ambientais associados às etapas de ciclo de vida de produtos têxteis .....	1
Tabela 2 - Características das águas residuais em diferentes fases do processamento dos têxteis de algodão e limites admissíveis de descarga segundo o Decreto Lei nº 236/98 [24]. .....	11
Tabela 3 - Média anual do consumo específico de energia em kwh/ton na indústria têxtil em Portugal [26]. .....	12
Tabela 4- Principais poluentes emitidos nos processos de enobrecimento têxtil e produção de energia [27]. .....	12
Tabela 5- Conjunto de estudos selecionados sobre ACV do algodão.....	16
Tabela 6- Inventário da etapa de produção agrícola do algodão reportada à unidade funcional [32]. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	22
Tabela 7 - Inventário da produção de uma t-shirt de algodão convencional e biológica. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) ..	24
Tabela 8- Composição química dos produtos químicos da etapa de tinturaria, lavandaria e estamparia. ....	25
Tabela 9- Inventário da etapa de fiação para as duas t-shirts de algodão. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	26
Tabela 10- Inventário da etapa de tecelagem para as duas t-shirts de algodão. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	27
Tabela 11- Inventário da etapa de tingimento e lavandaria das duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	28
Tabela 12- Inventário da etapa de estamparia para as duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	29
Tabela 13- Inventário da etapa de corte para as duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	30
Tabela 14- Inventário da etapa de embalagem para as duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico) .....	30
Tabela 15- Comparação dos impactes ambientais associados a cada t-shirt de algodão.	34
Tabela 16- Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da t-shirt de algodão convencional e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte. ....	49
Tabela 17- Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da t-shirt de algodão orgânico e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte. ....	50

## 1. Introdução

A relevância do setor têxtil é indiscutível relativamente à poluição causada pela globalidade das atividades económicas [1]. O setor têxtil é constituído por vários subsectores, incluindo atividades que vão desde a produção da matéria prima, aos processos de confeção do produto final, até à embalagem e expedição dos produtos têxteis. O consumo de produtos químicos, recursos energéticos e naturais, bem como as emissões de poluentes gasosos, efluentes líquidos e produção de resíduos sólidos são responsáveis pelos impactes ambientais nefastos deste setor industrial. Estimativas para este setor indicam que em 2015 este foi responsável pelo consumo de 79 biliões de metros cúbicos de água, pela emissão de 1715 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e produção de 92 milhões de toneladas de resíduos, prevendo-se para 2030, um aumento de 50% dos valores mencionados [2]. O modelo de negócio predominante no setor têxtil é a “*Moda Rápida*” que apresenta ao consumidor coleções com as mais recentes tendências a preços baixos. Este é promotor do elevado consumismo do vestuário conduzindo ao aumento de resíduos têxteis com consequentes impactes nefastos no ambiente. A Tabela 1 descreve a origem dos problemas ambientais associados às etapas de ciclo de vida de produtos têxteis.

Tabela 1 - Problemas ambientais associados às etapas de ciclo de vida de produtos têxteis

Problemas Ambientais	Origem com base nas fases do ciclo de vida dos produtos têxteis
Consumo de energia	Produção de fibras sintéticas, fabricação de fios, processos de acabamento, lavagem e secagem de roupas na fase de uso
Consumo de água e produtos químicos	Produção de fibras, pré-tratamento, tingimento, acabamento e lavanderia
Resíduos Sólidos	Principalmente a rejeição de produtos no final de sua vida útil, fabricação de tecidos / roupas, embalagem
Emissões gasosas de CO <sub>2</sub>	Transporte global durante as várias fases do ciclo de vida

A produção de moda mais sustentável tem sido um desafio na perspetiva de promover a redução dos impactes ambientais associados ao setor têxtil. As empresas do setor reestruturam-se com objetivo de cumprirem regulamentações ambientais, promovendo uma produção mais limpa ao nível da empresa, mas também procuram a sustentabilidade ambiental ao longo do ciclo de vida associado ao seu produto. A otimização do desempenho ambiental associada às várias empresas que integram a cadeia de abastecimento tem vindo a merecer uma atenção crescente e as empresas têxteis recorrem a metodologias para a avaliação de impactes ambientais, como a avaliação de ciclo de vida. Esta ferramenta avalia os impactes ambientais ao longo das etapas de ciclo de vida desde a extração das matérias primas até às atividades de fim de vida do produto. Esta ferramenta possibilita a identificação de melhorias na cadeia de abastecimento e serve como apoio à tomada de decisão para a definição de estratégias de sustentabilidade ambiental [4].



## 1.1. Enquadramento

O algodão é a matéria prima mais utilizada no setor têxtil. Este material corresponde a cerca de 82% do consumo global das fibras naturais e a sua plantação ocupa cerca de 32,4 milhões de hectares, localizados em mais de 75 países [6]. No período de 2018/2019, a Índia foi o país com maior produção de algodão, alcançando os 5,77 milhões de toneladas [7]. As operações que englobam o ciclo de vida do algodão, desde o cultivo agrícola até à confeção apresentam impactes ambientais relevantes [5]. As empresas do setor têxtil têm vindo a se adaptar de modo a tornarem-se mais sustentáveis, reduzindo o impacte ambiental ao longo da cadeia de abastecimento do vestuário.

As etapas de agricultura, enobrecimento têxtil, fiação e uso são as etapas mais contribuidoras para o impacte ambiental global dos produtos têxteis. Os processos de produção de fio, tecelagem, corte, tingimento, estamparia e confeção estão associados ao consumo intensivo de energia, produtos químicos e água. O algodão é uma das matérias primas mais utilizadas e a sua produção apresenta diversos problemas ambientais. A agricultura convencional está associada à utilização de pesticidas, inseticidas e fertilizantes sintéticos, consumo de água e consumo de combustíveis fósseis provenientes das máquinas agrícolas. A produção de algodão biológico realiza-se sem recurso a pesticidas e outros químicos de origem sintética [6].

Atualmente existem normas que possibilitam direcionar o setor para a sustentabilidade. Um exemplo é a norma GOTS (*Global Organic Textile Standard*) que possibilita a consideração de aspetos ambientais ao longo da cadeia de produção de peças de vestuário. A certificação GOTS é possível pela utilização de, pelo menos, 70% de fibras biológicas certificadas numa peça de vestuário [8]. Outra possibilidade realiza-se através da implementação da GRS (*Global Recycle Standard*), sendo esta norma que consiste em definir os requisitos para garantir as características específicas e verificar práticas sociais, ambientais e restrições químicas minimizando os impactes ambientais [9]. As certificações GOTS e GRS são cada vez mais solicitadas pelos clientes, verificando-se que um aumento da procura de empresas com estas certificações. A aplicação destes normativos permite garantir ao cliente que o produto é fabricado tendo em conta algumas considerações ambientais, no entanto, apesar da aplicação de normas que visam reduzir os impactes ambientais é importante conhecer e quantificar esses impactes ao longo da cadeia de abastecimento numa perspetiva de sustentabilidade ambiental. A avaliação de ciclo de vida é uma ferramenta que permite quantificar e comparar os impactes ambientais desde o desenvolvimento, às atividades de fim de vida dos produtos têxteis.

## 1.2. Objetivos

O objetivo deste estudo consiste em avaliar e comparar os impactes ambientais associados à produção de dois tipos de t-shirts de algodão: aquela que tem origem em produção de algodão convencional e a produzida com algodão de origem biológica. A avaliação de ciclo de vida é a ferramenta utilizada no estudo para avaliar os impactes ambientais referentes à produção das t-shirt de algodão. As normas ISO 14040 e ISO 14044 contêm os requisitos e diretrizes para realizar estudos de avaliação de ciclo de vida [10,11]. O SimaPro 8.5.2.0 é o software comumente usado em estudos de avaliação de ciclo de vida que possibilita a avaliação do contributo dos processos e dos materiais usados para os impactes ambientais. Esta avaliação comparar os impactes ambientais de diferentes estudos, assim como avaliar as etapas de ciclo de vida que apresentam maior impacto. A comparação ambiental dos dois produtos permite concluir sobre o desempenho ambiental de cada um e identificar os pontos críticos ao longo do ciclo de vida para os quais é possível definir estratégias de redução do impacto.

As etapas de ciclo de vida avaliadas no estudo incluem a etapa de produção agrícola do algodão (convencional e biológico), a fiação, tecelagem, tingimento e lavandaria, corte, estamparia, confeção e embalagem de modo a comparar os impactes do produto final fabricado com os dois tipos de algodão. O estudo inclui o transporte da matéria prima que é importada e transportada até às instalações das empresas do grupo Valérius e, o transporte do produto final desde as instalações da empresa até ao cliente final. Alguns dos processos são idênticos para os dois tipos de t-shirt, nomeadamente, os processos de fabrico de fio, malha e produção da t-shirt, mas existem especificidades relativamente ao algodão biológico que são consideradas. A origem da informação ambiental associada aos processos de produção de malha, confeção e acabamentos foram obtidas pelas empresas que constituem o grupo Valérius. Esta informação foi completada com informação relativa à produção das matérias-primas e auxiliares disponíveis em bases de dados e bibliografia.

### *1.3. Estrutura e organização da tese*

O **Capítulo 1** apresenta uma visão geral sobre o setor têxtil e os problemas ambientais pelo qual se debatem de modo a melhorar a sua produção numa perspetiva de sustentabilidade ambiental. São também identificados os problemas ambientais associados ao ciclo de vida da produção de produtos de algodão desde a produção da matéria prima até à expedição do produto final. Por fim são identificados os objetivos da dissertação e a sua estrutura e organização.

No **Capítulo 2** são caracterizadas as fases de ciclo de vida de t-shirts de algodão dos dois materiais distintos (Algodão convencional, Algodão Orgânico) em foco nesta dissertação. São resumidos os estudos de avaliação de ciclo de vida de produtos em algodão recolhidos na bibliografia e identificadas as respetivas conclusões.

O **Capítulo 3** descreve as etapas da metodologia de avaliação de ciclo de vida recorrendo às Normas ISO 14040:2006 e ISO 14040: 2006. O objetivo e âmbito do estudo são definidos, assim como a unidade funcional e as fronteiras do sistema. São também descritas as etapas da análise do inventário de ciclo de vida e da avaliação dos impactes ambientais.

No **Capítulo 4** são apresentados os resultados relativamente a cada etapa de avaliação de ciclo de vida referente a cada tipo de produto estudado. São identificadas as etapas do ciclo de vida com maior contribuição para o impacte ambiental e é realizada uma avaliação comparativa entre os diferentes tipos de algodão, de modo a identificar as fases de ciclo de vida com maior contributo, como também analisar qual o produto com maior impacte ambiental associado.

Finalmente o **Capítulo 5** apresenta as conclusões do estudo, identifica as suas limitações e identifica as perspetivas para trabalhos futuros.

## *2. Caracterização das etapas de ciclo de vida da produção de t-shirts de algodão*

### *2.1. Caracterização das fases do ciclo de vida das t-shirts de algodão*

A produção de t-shirts de algodão inicia-se com a produção da matéria prima. O algodão é uma matéria prima de origem em atividades agrícolas. As etapas agrícolas de produção de algodão convencional e biológico são semelhantes, no entanto na produção de algodão biológico o crescimento do algodão é realizado sem adição de pesticidas, reguladores e estimuladores de crescimento. Após colheita este segue para a etapa de descaroçamento, na qual obtém-se a fibra de algodão. A etapa de fiação consiste na transformação da fibra de algodão em fio. Em seguida o fio é transportado e utilizado para a produção de malha que percorre a etapas de ultimação têxtil e confeção até dar origem ao produto final. Estas etapas podem acontecer em zonas geográficas distintas. As etapas de produção de t-shirts de algodão são semelhantes para os diferentes tipos de algodão em estudo. No entanto, o algodão biológico apresenta requisitos específicas desde a etapa de produção agrícola, como também ao longo do processo de fabrico que serão detalhadas no texto.

Em complemento são identificados os aspetos ambientais relativos às etapas de ciclo de vida da produção de t-shirts e finalmente são revistos estudos retirados da bibliografia que aplicam a metodologia de ACV a produtos de algodão usados na Indústria têxtil. Como conclusões são identificados os impactes ambientais e suas causas focando especificamente sobre o ciclo de vida do algodão.

A Figura 1 apresenta as fases do ciclo de vida que serão analisadas neste estudo desde a produção agrícola do algodão até à produção do fio. Estas duas fases serão analisadas de acordo com informação bibliográfica. As etapas de transporte da matéria prima (algodão convencional e biológico), processo de tecelagem, tingimento, lavandaria, estamparia, corte, confeção e embalamento são descritas com base em informação do processo e tecnologia de produção das empresas do grupo Valérius.

## Algodão Convencional e Biológico

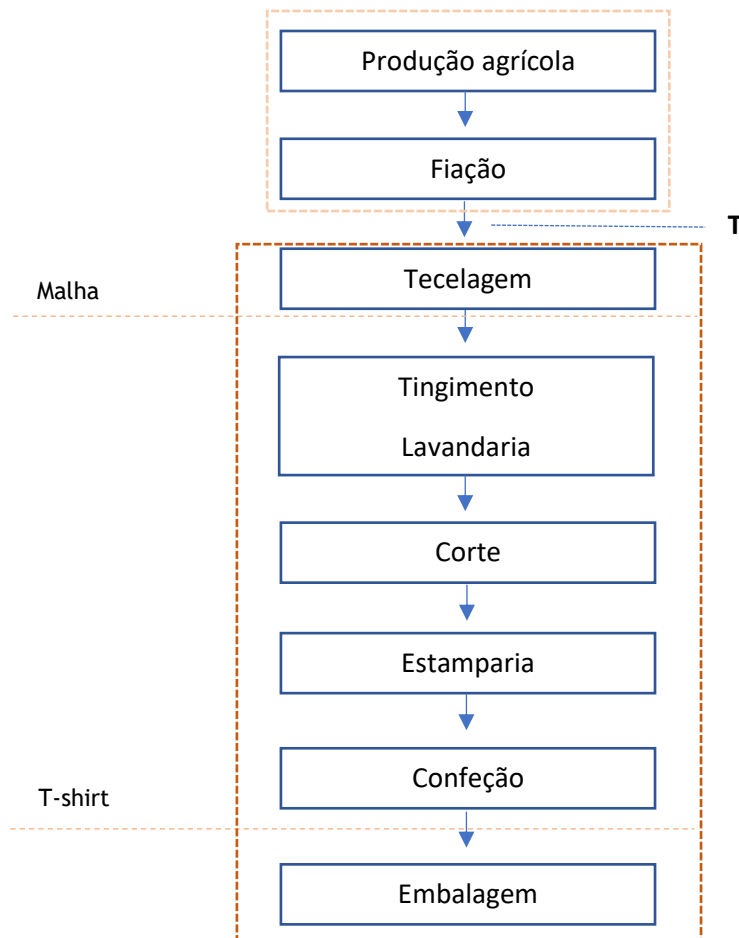


Figura 1 – Fases do ciclo de vida da produção da t-shirt de algodão (de dois tipos diferentes: algodão convencional, biológico) produzidas pelo grupo Valérius.

### 2.1.1.

#### *Produção agrícola do algodão*

O processo de produção agrícola do algodão inicia com a etapa de cultivo e termina com a etapa de descaroçamento. A etapa de cultivo consiste na plantação das sementes de algodão após preparação do solo. O crescimento da planta de algodão depende das condições dos solos e temperatura. As sementes de algodão emergem do solo após cinco a quinze dias, dependendo das condições de temperatura e humidade. A planta de algodão pode atingir cerca de 1,20 metros de altura, podendo em alguns casos esta ser ultrapassada. No período de 35 a 45 dias desenvolvem-se os primeiros botões de flores ou quadros de algodão até à floração branca [12]. Após a etapa de polinização formam-se as cápsulas, onde se encontram as fibras de algodão. A abertura da cápsula, associado ao amadurecimento ocorre entre 65 a 75 dias. A produção de 1 kg de fibra de algodão está associada à recolha de 100 a 120 cápsulas de algodão [12]. O processo de produção agrícola tradicional consiste no crescimento da planta de algodão com recurso a fertilizantes

sintéticos, estimuladores de crescimento e pesticidas. No entanto, na agricultura biológica elimina o uso de produtos químicos promotores de um rápido desenvolvimento da planta. A etapa de descaroçamento do algodão consiste na separação da fibra de algodão da semente [12].

### *2.1.2. Processo de Fiação*

O processo de fiação consiste na transformação de fibra de algodão em fio. A fibra de algodão é rececionada em fardos, sendo necessária numa primeira etapa a mistura e limpeza do mesmo. No seguimento, na etapa de cardação, e posteriormente, em processo de laminagem ocorre a paralelização das fibras obtendo uma fita. Após este tratamento inicial da matéria prima procede-se à etapa de fiação propriamente dita, na sequência de processos de estiramento e torção, obtém-se o fio com a massa linear (secção) de acordo com as especificações do cliente. A etapa de torção apresenta elevada importância, relativamente às características do fio, esta permite conceber coesão dos fios para que apresentem resistência suficiente para as etapas seguintes. A etapa final consiste na bobinagem do fio para um determinado suporte, normalmente em cone, pronto para ser utilizado no processo de tecelagem [13,14].

O processo de fiação é o mesmo para o algodão orgânico e convencional, no entanto é necessário que durante o processo não haja contaminação de matérias-primas.

### *2.1.3. Produção de malha ou tecelagem*

A empresa Clothius que integra o grupo Valérius é a responsável pelo processo de tecelagem. A empresa possui 20 teares circulares e 40 teares especializados para malhas tubulares 3D (sem costura). Os teares circulares (Figura 2) produzem tecido tubular contínuo alimentados por fios que se encontram posicionados nas imediações do tear. O processo de tecelagem envolve o movimento individual das agulhas através do sistema de cames, sendo responsável pela produção da estrutura da malha [15]. No seguimento da produção da malha os cilindros enrolam a malha num rolo colocado na parte inferior do tear, formando o sistema de tiragem [16].



Figura 2 - Teares circulares da Clothius [17].

#### 2.1.4. Tingimento

A empresa António Barroso Malhas é a empresa do grupo Valérius especializada no processo de tingimento. O tingimento é um processo químico que permite a coloração uniforme do tecido têxtil. A matéria prima antes de ser tingida é sujeita a um tratamento prévio que permite a eliminação de impurezas na malha, com o objetivo de tornar a malha apta para o tingimento, estamparia e acabamento [18]. O tratamento prévio depende do tipo de matéria prima e do comportamento da malha que o cliente pretende. O processo de tingimento depende da composição química da matéria prima, assim como os requisitos impostos pelos clientes. O tingimento utilizado na malha de algodão no grupo é o tingimento por esgotamento em descontínuo, que consiste na imersão do tecido no banho, promovendo, simultaneamente a movimentação do banho e do tecido utilizando corantes reativos. Os corantes são adicionados na solução durante um determinado período e um perfil de temperatura previamente determinado [18,19]. No seguimento da etapa de tingimento propriamente dita, ocorre a lavagem e amaciamento da malha ainda no interior do jet (máquina de tingimento), eliminado o excesso de corante. A malha sai dos jets é aberta e segue para a respetiva secagem nas râmolas, sendo armazenada em rolo e expedida [20]. O processo de tingimento para as malhas de algodão orgânico e algodão convencional são os mesmos, no entanto não poderá existir contaminação ente matérias-primas. Os produtos químicos utilizados para a malha orgânica devem possuir certificação GOTS, ao contrário da malha convencional que não apresenta qualquer restrição aos produtos usados.

#### 2.1.5. Lavandaria

A etapa de lavandaria é complementar à etapa de tingimento, sendo necessária para garantir acabamentos específicos à malha. Os processos de lavandaria utilizados no grupo são o Fade Out, rotos, bigodes e lavagens especiais como stone wash e o stone bleach. O

fade out e as lavagens especiais têm o objetivo de provocar desgaste na peça, com especificações distintas. A lavagem especial consiste na impregnação de um agente branqueador oxidativo durante a lavagem no caso de stone bleach e predas pomes no caso do stone wash. Estes acabamentos são utilizados maioritariamente nas calças de ganga, no entanto também são utilizados nas t-shirts. Os rotos são processos mecânicos que consistem em formar rasgos na t-shirt ou efeito bigode que consiste num processo de debotar usado para imitar o efeito de desgaste natural que a roupa ganha à medida que é utilizada.

### *2.1.6. Corte*

O processo de corte inicia-se com a elaboração de planos de corte, no qual consistem nos moldes pré-dimensionados relativos a cada componente do produto e as dimensões associadas a cada tamanho. Os equipamentos de corte são auxiliados com um programa informático que permite dimensionar a melhor solução para reduzir a quantidade de desperdício de malha. A malha é revistada de modo a identificar eventuais defeitos. O rolo de malha é introduzido na máquina elétrica de corte e procede-se à sobreposição de várias camadas de malha. Esta é cortada de acordo com os planos de corte desenvolvidos, automaticamente, sendo posteriormente agrupada em lotes. O agrupamento das peças permite identificar e dividir os diferentes componentes, de acordo com os tamanhos e com as quantidades.

### *2.1.7. Estamparia*

A Érius é a empresa do grupo responsável pelo processo de estamparia realizado no grupo Valérius. Este processo consiste em aplicar um desenho na peça usando tinta. O cliente apresenta o desenho a ser estampado assim como os efeitos de estamparia que pretende, após o que as etapas do processo são a gravação dos quadros, preparação da cor, aplicação do estampado propriamente dito da peça de vestuário e secagem. A etapa de gravação consiste na transferência da película do desenho para a tela do quadro através de equipamentos específicos que utilizam luz, após a aplicação de um banho no quadro. A cada quadro corresponde a uma cor diferente que será estampada na peça de vestuário. A preparação da cor consiste na junção de vários produtos químicos, de acordo com a técnica de estampagem a ser aplicada. Os produtos químicos utilizados durante o processo de estamparia devem cumprir os requisitos do cliente, assim como as especificações que se encontram nos respetivos cadernos de encargos. A aplicação do estampado consiste na transferência de tinta para a malha através dos quadros e régua que fazem movimentos ascendentes e descendentes com uma determinada pressão permitindo a transferência de tinta pela tela do quadro. No seguimento, procede-se à secagem ocorrendo a polimerização. A malha biológica segue o mesmo processamento, no entanto deve cumprir os requisitos da norma GOTS ou OCS, sendo que os produtos químicos utilizados devem ser certificados. No entanto, os produtores de produtos químicos têm vindo a adaptar-se de modo a cumprirem o caderno de encargos de vários clientes (Inditex, OCS, GOTS, GRS).



### ***2.1.8. Processo de confecção***

O processo de confecção é idêntico para os dois tipos de t-shirts e consiste na junção dos componentes que integram uma t-shirt, sendo realizada numa primeira fase, manualmente pelo operador através de costuras formadas por pontos, seguindo-se um processo de confecção. No processo estão apresentadas várias especificações, como o tipo de linha a ser utilizado e o tipo de costura a realizar.

### ***2.1.9. Processo de embalagem***

Na embalagem o produto final é preparado para ser expedido para o cliente. O produto final após a etapa de confecção é passado a ferro, introduzida as etiquetas para venda e embaladas em embalagens plásticas. Posteriormente estas são enviadas para o cliente em caixas cartonadas.

## ***2.2. Aspetos ambientais resultantes da produção de t-shirts de algodão***

A indústria têxtil é caracterizada pelo elevado consumo de água, energia e produtos químicos e gerando resíduos, efluentes líquidos e emissões gasosas. A diversidade de processos, matérias primas e produtos químicos geram diferentes impactes ambientais [21].

Quando excluídas as etapas de uso e final de vida, bem como os transportes entre as etapas de ciclo de vida, a produção agrícola e as etapas de enobrecimento têxtil são as etapas que apresentam uma maior contribuição para o impacte ambiental. Na produção agrícola o impacte ambiental é causado pelo consumo de pesticidas, inseticidas, reguladores de crescimento, consumo de água e consumo de combustíveis fósseis para maquinaria agrícola. Nas etapas de enobrecimento têxtil (tingimento, lavandaria, estamparia) são usados produtos químicos e consumidas elevadas quantidades de água. Os produtos químicos inseridos na malha são ao longo do tempo libertados para o meio ambiente. O elevado consumo de água gera efluentes contaminados com diversos elementos tóxicos na sua composição, apresentando uma elevada preocupação a nível ambiental [14]. As principais propriedades das substâncias químicas utilizadas na indústria são a toxicidade, bioacumulação e persistência, sendo substâncias que não se decompõem facilmente no meio ambiente. Os efluentes contaminados apresentam uma diversidade de poluentes e agentes químicos dissolvidos, que provocam um elevado impacte ambiental quando em contacto com o meio ambiente [14,23]. As emissões de poluentes gasosos representam a segunda maior preocupação ambiental, estas são provenientes das etapas de tinturaria, estamparia e acabamento [21].

Em seguida são analisados os principais aspetos ambientais gerados ao longo das fases do ciclo de vida, nomeadamente o consumo de água e produção de efluentes, o consumo

energético, as emissões gasosas e produção de resíduos sólidos. São também identificadas as respectivas causas destas fontes de poluição.

### 2.2.1. Consumo de água e produção de efluentes líquidos

As etapas de produção agrícola e de enobrecimento têxtil são as etapas do setor têxtil que apresentam um intensivo consumo de recursos hídricos. O impacto ambiental na etapa de cultivo é causado pelo uso de fertilizantes, pesticidas e estimuladores de crescimento. Consequentemente, a aplicação destes no solo afeta a qualidade da água, através de processos de lixiviação que permitem a contaminação das águas superficiais e subterrâneas. A problemática ambiental não consiste apenas no intensivo consumo dos recursos hídricos, mas também nas descargas dos efluentes contaminados para o ambiente. As etapas de enobrecimento têxtil incluem a etapa de tingimento, lavanderia e estamparia nas quais consomem elevadas quantidades de água. A qualidade da água é diminuída pelo elevado consumo de produtos químicos contendo substâncias tóxicas e perigosas para o ambiente e saúde humana [24]. Na etapa de tingimento a água é necessária na lavagem da malha. Na estamparia após o processo de estamparia propriamente dito é necessário proceder à lavagem das telas de impressão. A Tabela 2 apresenta as características das águas residuais em diferentes fases do processamento dos têxteis de algodão, sem especificar o tipo, e os limites admissíveis de descarga na água. Nas etapas de ultimação têxtil os produtos químicos utilizados apresentam modificações na sua composição química de modo a cumprirem os requisitos GOTS, de modo a utilizar produtos químicos mais sustentáveis. No entanto, os fornecedores dos produtos químicos têm vindo a ser adaptados de modo a cumprirem o caderno de encargos da GOTS, OCS e GRS.

Tabela 2 - Características das águas residuais em diferentes fases do processamento dos têxteis de algodão e limites admissíveis de descarga segundo o Decreto Lei nº 236/98 [24].

Processo	Efluentes líquidos (m <sup>3</sup> /ton)	Poluentes (kg/ton)			
		CBO <sub>5</sub>	CQO	SST	SDT
<b>Processos húmidos</b>	360	32	123	25	243
Branqueamento	30	5	13	-	28
Tingimento	142	6	24	-	180
Estamparia	188	21	86	25	35
<b>Acabamento</b>	136	6	25	12	17
<b>Total</b>	<b>496</b>	<b>38</b>	<b>148</b>	<b>37</b>	<b>260</b>
<b>Limites admissíveis</b>		<b>40</b>	<b>150</b>	<b>60</b>	<b>-</b>

CBO<sub>5</sub> (Carência Bioquímica de Oxigénio); CQO (Carência Química de Oxigénio); SST (Sólidos Suspensos Totais); SDT (Sólidos Dissolvidos Totais).

### 2.2.2. Consumo energético

O consumo energético é significativo ao longo de todo o processo de produção de uma t-shirt de algodão. Os tipos de energia utilizados na indústria têxtil são a eletricidade e gás

natural usado para produção de vapor [23]. Nos transportes são consumidos combustíveis fósseis, sendo o mais comum a gasolina ou gasóleo. O processo de produção de malha consome energia elétrica usada nos teares, produção de ar comprimido e na aspiração dos resíduos de malha pelo sistema de exaustão. Os processos de tinturaria e estamparia consomem maioritariamente energia térmica na forma de calor e vapor. O gás natural, é utilizado no aquecimento dos banhos no tingimento e na etapa de secagem dos produtos têxteis. A etapa de corte da malha e confeção envolve apenas consumo de energia elétrica [25]. A Tabela 3 apresenta a média anual do consumo específico de energia em Portugal, associado ao processo de tingimento, estamparia e confeção.

Tabela 3 - Média anual do consumo específico de energia em kwh/ton na indústria têxtil em Portugal [26].

Processo	Produção de vestuário Ton	Eletricidade (kWh)	Energia Térmica (kWh)	Total (kWh/ton)
Tingimento do fio	745	1559	6853	8412
Tingimento da malha	2048	928	7639	8567
Acabamento da malha	3222	523	2455	2978
Estamparia	433	659	2266	2925
Tingimento do tecido	2179	460	5081	5541
Acabamento do tecido	4117	741	4943	5684

### 2.2.3. Emissões gasosas

Os processos de enobrecimento têxtil, incluindo o tingimento, estamparia e acabamento, estão associados à impregnação de compostos no substrato têxtil. As emissões gasosas têm origem na queima de combustíveis fósseis ou na utilização de compostos químicos. As primeiras decorrem nas caldeiras, na qual são utilizados combustíveis tais como gás natural e diesel para promover o aquecimento de elevadas quantidades de água e vapor necessárias para um tingimento adequado. As etapas de secagem, tingimento e estamparia envolvem altas temperaturas, conduzindo à libertação de compostos voláteis provenientes das emulsões químicas usadas nas receitas no tingimento estamparia [27]. A Tabela 4 apresenta os principais poluentes gasosos resultados dos processos de enobrecimento têxtil e produção de energia.

Tabela 4- Principais poluentes emitidos nos processos de enobrecimento têxtil e produção de energia [27].

Processo	Origem	Poluentes
Fiação	Preparação, cardação, penteação.	Partículas
Tingimento, Lavandaria e Estamparia	Uso de óleos, solventes, formaldeído, compostos de enxofre e amoníaco.	H <sub>2</sub> S, Formaldeído, Hidrocarbonetos COVs

Produção de energia nas caldeiras	Gás natural, gasóleo	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Partículas, CO <sub>2</sub> , CO
-----------------------------------	----------------------	--

#### 2.2.4. Produção de resíduos sólidos

Os resíduos sólidos produzidos no processo de fabrico de uma t-shirt de algodão são diversos, sendo que na produção de malha são produzidos resíduos de fibras e fios. O processo de corte e confeção produz como aparas de fibras, linhas e outros tipos de resíduos de embalagem como, por exemplo, cartão, papel e plástico. Os resíduos sólidos na tinturaria e na estamparia são os recipientes dos produtos químicos e absorventes contaminados. A etapa de embalagem do produto final produz resíduos de embalagem, incluindo o cartão, papel e plástico.

#### 2.3. Revisão bibliográfica dos estudos de avaliação de ciclo de vida de produtos têxteis: foco no algodão

Existem inúmeros estudos de avaliação de ciclo de vida de produtos têxteis, relativamente às diversas matérias primas disponíveis no mercado. Com o objetivo de estudar os impactes ambientais associados ao ciclo de vida do algodão, foram recolhidos e analisados vários estudos disponíveis na bibliografia que realizam estudos de avaliação de ciclo de vida a produtos em algodão. Verifica-se que os estudos encontrados na bibliografia analisam intensamente a etapa de agricultura do algodão e a etapa de uso de produtos têxteis em algodão. As etapas de produção de malha, tingimento, estamparia, etapas de acabamento, confeção e embalagem do produto final não são analisadas com detalhe. A Tabela 5, identifica os seis estudos revistos e resume os parâmetros principais usados na aplicação da metodologia e resultados obtidos para o algodão.

Relativamente ao estudo [15] este compara os impactes ambientais do uso de T-shirts de algodão convencional e outras três variantes de algodão biológico. A unidade funcional consiste na produção de 1000 t-shirts de algodão. Este estudo permite concluir que as fases de produção agrícola, processos húmidos e fiação, apresentam uma contribuição relevante para o impacto ambiental das t-shirts. Este contributo deve-se ao consumo de agentes químicos e recursos energéticos nas fases de produção agrícola e nos processos húmidos. A contribuição do processo de fiação está relacionada com o consumo energético. A transformação da agricultura convencional para uma agricultura biológica reduz consideravelmente nas categorias de impacto estudadas.

Relativamente ao estudo [16], o principal objetivo consiste em avaliar os impactes ambientais associados à produção de fios de algodão através de algodão recuperado comparando a ACV do uso de algodão obtido por cultivo convencional e orgânico. A unidade funcional estabelecida consiste numa T-shirt de algodão colorida, no entanto a unidade funcional utilizada na etapa de discussão do estudo está reportada a uma t-shirt 100% algodão. Neste presente estudo foi possível concluir que é ambientalmente mais sustentável o uso de algodão proveniente de um cultivo biológico em relação ao convencional. O uso de fibras de algodão reciclado evita o uso de recursos virgens e pode

evitar a realização de processos de tinturaria, reduzindo os impactos ambientais associados. O processo de tinturaria está associado a impactos ambientais nefastos, causados pela quantidade de água utilizada para o processo, juntamente com os agentes químicos, detergentes, amaciadores e emissões gasosas de dióxido de carbono e de enxofre, causadas pelo consumo de gás natural e produção de eletricidade. Estas emissões advêm da combustão de gás natural e na produção de eletricidade consumida pelas máquinas industriais. Este processo gera elevadas quantidades de águas residuais com elevada toxicidade. A recuperação de fibras é uma alternativa sustentável, uma vez que evita o recurso a matérias primas e processos que apresentam impactos ambientais nefastos. Como também, reduz os custos associados à eliminação, promovendo um novo ciclo de vida aos produtos.

Relativamente ao estudo [17] o objetivo consiste em determinar as etapas que causam um impacto ambiental significativo nos processos húmidos. Um segundo objetivo deste estudo consiste em propor sugestões para a conservação dos recursos e a gestão ambiental dos processos húmidos. A unidade funcional definida no presente estudo foi 10.000 metros de tecido de algodão tingido com uma massa de 2.000 kg. O presente estudo conclui que a lavagem e o branqueamento com oxigénio, tingimento, a etapa de secagem, o tratamento de águas residuais e a deposição em aterro do vestuário são as etapas mais críticas do processo.

Relativamente ao estudo [18], o objetivo consiste em avaliar o impacto ambiental entre dois tipos de processo de tingimento e processo de acabamento. A unidade funcional é uma tonelada de malha 100% algodão tingida com três cores diferentes utilizando corantes reativos. Os autores do estudo concluíram que, o impacto ambiental associado aos processos de tingimento e acabamentos deve-se principalmente ao processo de tingimento adotado, à quantidade de corante utilizada, ao consumo da eletricidade e ar comprimido utilizados, o consumo de energia na produção de vapor das caldeiras industriais, as estações de tratamento de águas residuais e o transporte dos produtos químicos. O processo de tingimento por exaustão apresenta um maior impacto ambiental relativamente ao processo de tingimento por lotes a frio sem silicato. O impacto ambiental no desenvolvimento da cor clara é menor comparado com o escuro.

Relativamente ao estudo [19], o objetivo consiste em identificar os pontos críticos ambientais e analisar oportunidades de melhoria durante o ciclo de vida de t-shirts 100% algodão na China. A unidade funcional consiste numa t-shirt 100% de algodão tingida. Os autores concluíram que a etapa agrícola do algodão apresenta um elevado impacto ambiental, causado pelo consumo de pesticidas, fertilizantes, entre outros produtos agrícolas que conseqüentemente leva à contaminação dos solos e consumo de recursos hídricos. A etapa do tingimento é crítica ao nível ambiental, uma vez que é um setor que consome produtos químicos nefastos para o ambiente. No entanto, as etapas de confeção e fição são grandes contribuidoras para o consumo energético.

Relativamente ao estudo [31] a unidade funcional corresponde a 1 t-shirt de algodão de 250g. No estudo concluiu-se que a etapa de fição e a etapa de tingimento para além

da etapa de produção agrícola são também os maiores contribuintes para estas emissões em que ambos são responsáveis por cerca de 50% do total das emissões atmosféricas.

Em conclusão, a etapa de produção agrícola e as etapas de enobrecimento têxtil são as etapas que apresentam um maior impacto ambiental. A etapa de produção agrícola contribui para um impacto ambiental nefasto devido ao uso de produtos químicos como pesticidas, fertilizantes que promovem a contaminação dos solos. No seguimento, o consumo de água é intensivo, como também a contaminação das mesmas através de processos de lixiviação. Na etapa de enobrecimento têxtil o impacto ambiental é causado pelo uso de produtos químicos com elementos nefastos na sua composição. Associado ao uso de produtos químicos e ao consumo de água nesta secção, promove a contaminação das águas e a emissão de gases. As etapas de confeção do produto estão associadas à intensa consumo energético.

Tabela 5- Conjunto de estudos selecionados sobre ACV do algodão.

Estudo	ACV de produtos têxteis de algodão na Turquia	Impacte ambiental de algodão recuperado na indústria têxtil	Avaliação do ciclo de vida da tecnologia de tingimento contínuo de tecidos de algodão	Avaliação de ciclo de vida dos processos de tinturaria e acabamentos em malha de algodão orgânico	Avaliação de ciclo de vida em t-shirts de algodão na China	Um inventário espacialmente explícito do ciclo de vida da cadeia têxtil mundial
Referência	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[31]
Local	Turquia	Espanha	-	-	China	-
Objetivo e âmbito	Identificar e comparar os impactes ambientais de uma t-shirt de algodão convencional e três outras variantes de algodão Eco.	Avaliação dos impactes ambientais da produção de fio de algodão através da recuperação do mesmo.	Determinar as etapas que causam um impacte ambiental significativo nos processos húmidos.	Avaliar o impacte ambiental entre dois tipos de processo de tingimento e processo de acabamento.	Identificar os hotspots ambientais, e analisar oportunidades de melhoria durante o ciclo de vida de t-shirts 100% algodão na China	Analisar o padrão espacial das emissões poluentes e ilustrar o potencial de deslocação da poluição numa economia globalizada.
Unidade Funcional	1000 t-shirts de malha e algodão	1 T-shirt (0,3g) 100% algodão	10.000 metros de tecido de algodão tingido com uma massa de 2.000 kg	1 tonelada de malha 100% algodão tingida com 3 cores utilizando corantes reativos.	1 t-shirt 100% algodão tingida	1 t-shirt (110g)
Etapas de avaliação de ciclo de vida	Produção de algodão orgânico e convencional; Fabricação de fios; Fabrico de malhas; Processos húmidos (tingimento, lavagem), Fabrico do produto final (corte e confeção), Uso e eliminação, transporte.	Produção do algodão; Tinturaria.	Pré-tratamento, tingimento contínuo, e etapas de acabamento	Processo de tinturaria e acabamento	Produção de algodão, Processo de tingimento e acabamentos, confeção, uso	Processo de cultivo, processo de fição, Produção de malha, tinturaria, confeção transporte, uso
Abordagem da ACV	Berço ao túmulo	Berço ao túmulo	Porta à Porta	Porta à Porta	Berço ao túmulo	Berço ao túmulo
Método	-	CROPWAT platform; Intergovernmental Panel on Climate; Change (IPCC) method;	CML2001 incorporado	-	CML 2001 e o USEtox	Ecolinvent, Gabi
Categorias de impacte ambiental	Aquecimento global; Acidificação; Eutrofização aquática e terrestre; formação de ozono fotoquímico.	Aquecimento global; Acidificação; Eutrofização aquática e terrestre; Toxicidade humana; Depleção da camada de ozono.	Aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de azoto fotoquímico	Aquecimento global, eutrofização e acidificação aquática, ecotoxicidade terrestre e aquática, depleção da camada de ozono.	Depleção abiótica, acidificação, aquecimento global, formação de azoto fotoquímico, eutrofização, toxicidade humana e ecotoxicidade.	-
Conclusões	As etapas de uso, agricultura e processos de fabrico de fio apresentam impacte ambiental significativo em todas categorias ambientais estudadas.	A implementação da tecnologia de recuperação do algodão promove a redução dos impactes ambientais nefastos associados às fases de ciclo de vida, como também promove a redução dos custos associados à fase de eliminação e incineração.	A lavagem e o branqueamento com oxigénio, tingimento, a râmola, o tratamento de águas residuais e os estâgios de incineração são as etapas mais críticas do processo. As categorias de impacte com mais contributo são o aquecimento global, acidificação, eutrofização e formação de azoto fotoquímico.	Processo de tingimento adotado, a quantidade de corante utilizada, a eletricidade e ar comprimido utilizados, o consumo de energia na produção de vapor das caldeiras industriais, tratamento de águas residuais e o transporte dos produtos químicos contribuem para os impactes ambientais.	Os pontos críticos identificados foram os fertilizantes e pesticidas utilizados e o consumo de água na etapa de cultivo, consumo de carvão e corantes na tinturaria, consumo de energia na etapa de confeção e fição e o uso de detergentes na etapa de uso.	As etapas de fição e tingimento são as etapas com mais impacte relativamente à emissão de poluentes para a atmosfera .

### 3. Metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida

No presente estudo é aplicada a metodologia da avaliação de ciclo de vida recorrendo às normas ISO 14040 e pela ISO 14044 que contém as guias para a sua implementação (ISO 14040 e 44) [10,11]. A avaliação de ciclo de vida, de acordo com a ISO 14040, é constituída por quatro etapas, sendo estas a definição do objetivo e âmbito, a análise do inventário, a avaliação dos impactes e por fim a interpretação (Figura 3).

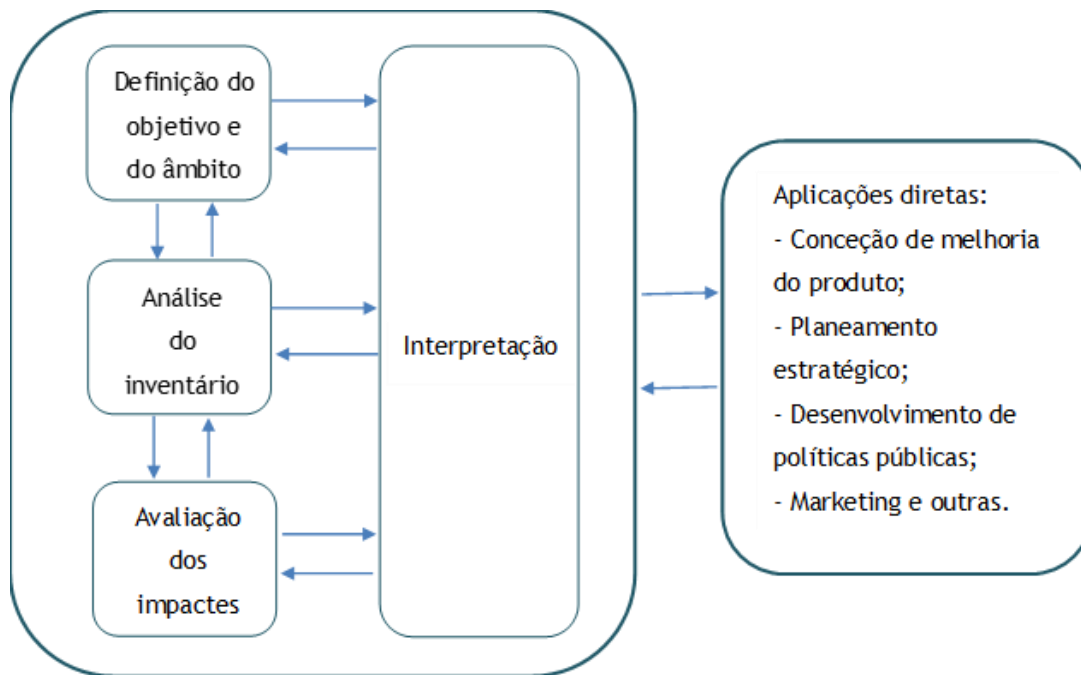


Figura 3- Etapas da metodologia da avaliação de ciclo de vida adaptado da norma ISO 14040 [10].

A primeira etapa consiste em **definir objetivo e âmbito do estudo**, na qual deve especificar as razões para a realização do estudo, como também a sua aplicação e o público-alvo. O âmbito é definido através da descrição clara de aspetos, tais como as fronteiras do sistema, a unidade funcional, procedimentos de alocação e as categorias de impactes e a metodologia utilizada aquando a avaliação e interpretação dos impactes ambientais.

A **análise do inventário** consiste na recolha e análise dos matérias, energia e água que entram ou saem dos processos relativos ao ciclo de vida do produto ou serviço.

A **avaliação dos impactes de ciclo de vida** consiste em relacionar os resultados do inventário com as potenciais categorias e indicadores de impacte ambiental. Os elementos obrigatórios na avaliação dos impactes de ciclo de vida são a classificação e caracterização das entradas e saídas em categorias de impacte ambiental. Os elementos facultativos são a normalização, agrupamento e ponderação. A **classificação** consiste em atribuir uma categoria de impacte ambiental aos dados do inventário. A **caracterização** consiste no cálculo dos indicadores relativos às categorias de impacte através do uso de fatores de



caracterização. A **normalização** consiste no cálculo dos indicadores das categorias de impacto analisadas em relação a um referencial. A **ponderação** consiste na utilização de fatores numéricos baseados em escolhas de valor convertendo os resultados da normalização e caracterização.

A **etapa de interpretação** consiste em relacionar os resultados obtidos na avaliação dos impactos de ciclo de vida e os resultados do inventário da avaliação de ciclo de vida. Esta etapa permite obter resultados completos do estudo da avaliação de ciclo de vida, assim como as respectivas conclusões que permitirão a tomada de decisão.

### ***3.1. Objetivo do estudo***

O principal objetivo consiste em avaliar e comparar os impactos ambientais associados aos dois tipos de t-shirts de algodão convencional e orgânico. Esta análise permite determinar a contribuição de cada etapa de ciclo de vida para o impacto global, identificar as etapas com maior contribuição e justificar essa contribuição. O estudo permite divulgar aos clientes os impactos ambientais associados à produção de t-shirts de algodão convencional e orgânico e identificar quais os processos críticos para o impacto ambiental das t-shirts.

A avaliação de ciclo de vida é realizada em conjunto com diferentes empresas do Grupo Valérius que forneceram os dados para a avaliação.

### ***3.2. Unidade Funcional e fronteiras do sistema***

A unidade funcional definida neste estudo é uma t-shirt de algodão convencional e orgânica com uma massa de 255 g de tamanho M. Foi considerado uma massa idêntica para as duas t-shirts. A abordagem de ACV adotada no estudo foi do berço-à-porta, englobando as etapas de produção agrícola, fiação, tecelagem, tinturaria e estamparia, lavandaria, corte, confecção do produto final e a respectiva embalagem.

As fronteiras do sistema representadas, na Figura 4, permitem limitar as etapas do processo em estudo. As etapas de produção agrícola e fiação são realizadas fora do grupo, no entanto a produção agrícola inclui a fase de descaroçamento, a produção de fertilizantes e pesticidas e a produção de sementes. Porém são excluídos o transporte dos produtos químicos para as fazendas e a aplicação dos fertilizantes naturais. A aplicação de fertilizantes e pesticidas na agricultura convencional envolve o uso de maquinaria, incluindo o consumo de diesel, assim como na agricultura orgânica. A etapa de fiação inclui as etapas de produção de fio de algodão, nomeadamente a batida, cardação, dobragem e estiramento, penteação, torção e fiação propriamente dita. Porém, exclui o material de embalagem e o transporte do material de embalagem, assim como o processo de tingimento do fio.

Nos processos de tecelagem, tingimento, lavanderia e estamparia foram incluídos o consumo dos produtos químicos, energia, água, tratamento de águas e emissões gasosas. Não obstante, o transporte dos produtos químicos e as questões ambientais relativas armazenamento não foram incluídos no estudo.

Os processos de tratamento de resíduos foram incluídos nas etapas de tecelagem, tingimento e lavanderia e estamparia. Nos processos de corte, confecção e embalagem o tratamento de resíduos não foi considerado, uma vez que a sua produção é insignificante. Porém, estas atividades mencionadas são na maioria subcontratadas, não tendo sido fornecidas informações relativas aos subcontratados. Estas etapas são realizadas no grupo, principalmente para produção de amostras para o cliente e pequenas coleções e posteriormente aplicadas nos subcontratados para produção das encomendas.

O transporte do fio de algodão convencional e algodão orgânico para as instalações do grupo foram incluídos no estudo, no entanto não foram considerados os transportes entre as empresas do grupo, como também os subcontratados. A expedição do produto final não foi considerada no presente estudo.

Em geral, foram excluídas algumas atividades, nomeadamente o transporte entre as várias fases do ciclo de vida, as atividades administrativas, o armazenamento de produtos e os equipamentos usados.

A Figura 4 esquematiza as etapas do ciclo de vida que serão analisadas, assim como as entradas e saídas em cada etapa.

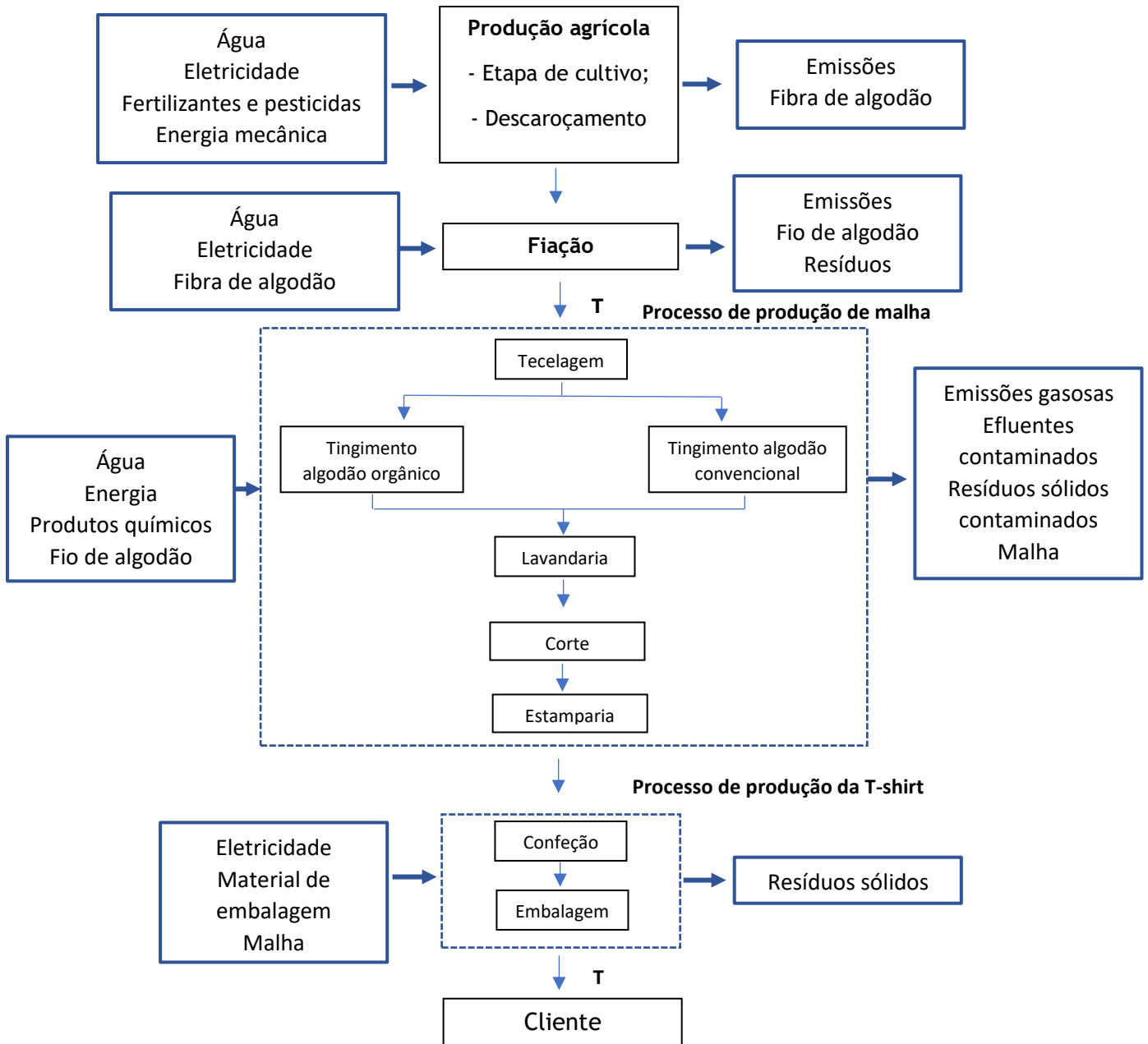


Figura 4- Fronteiras do sistema da avaliação de ciclo de vida de um t-shirt de algodão convencional vs algodão orgânico.

### T – Transporte

### *3.3. Análise do Inventário*

A análise do inventário foi realizada para cada etapa de ciclo de vida de uma t-shirt de algodão no Grupo Valérius, incluindo a etapa de produção agrícola e fiação, sendo que estas não estão incluídas nos processos realizados pelas empresas do Grupo. O inventário implica a listagem dos recursos energéticos, hídricos e as respetivas emissões gasosas, efluentes líquidos e emissões para o solo produzidos ao longo das etapas de ciclo de vida da produção de uma t-shirt de algodão orgânico e convencional. A informação sobre as etapas de produção agrícola do algodão e fiação foram recolhidas da bibliografia. Em seguida são apresentados os dados do inventário relativos ao consumo de energia, água, produtos químicos, materiais de embalagem, assim como os resíduos, emissões gasosas e efluentes líquidos gerados ao longo das etapas de ciclo de vida. Os dados foram reportados pelas empresas, sendo estes representativos da realidade industrial utilizados recorrentemente nas etapas de ciclo de vida da t-shirt de algodão. Os dados relativos à etapa de agricultura e fiação foram obtidos através da bibliografia, assim como algumas informações à qual não é do conhecimento da empresa. A composição dos produtos químicos não é conhecida pela empresa, sendo que essa informação tem por base dados genéricos da bibliografia. A etapa de agricultura é a única etapa que apresenta diferenças entre as matérias primas, sendo que as restantes etapas são semelhantes, logo não foi necessário diferenciar os dois tipos de t-shirts.

#### *3.3.1. Produção agrícola de algodão*

O algodão é uma matéria prima natural produzida na Índia, Tadjiquistão, Paquistão, Turquia, China e entre outros países. As empresas do setor têxtil em Portugal e na Europa têm a necessidade de importar a matéria prima. Assim sendo, a etapa de produção agrícola foi analisada através da tese de dissertação “Avaliação de ciclo de vida de dois produtos têxteis: algodão e lã”, que realizou o estudo de avaliação de ciclo de vida do algodão e da lã [32]. Os consumos foram adaptados e reportados à unidade funcional usada no presente estudo.

Na etapa de produção agrícola a aplicação de fertilizantes fósforo, azoto e sódio e pesticidas, assim como o consumo hídrico são os contribuintes para o impacte ambiental. No entanto a adoção de uma produção agrícola orgânica consiste na aplicação de fertilizantes naturais e elimina o uso de pesticidas, permitindo um processo mais sustentável. No entanto, a capacidade de resposta para suprir as necessidades do mercado é reduzida, uma vez que o crescimento da planta de algodão demora mais tempo em relação à produção convencional.

No trabalho usado para a recolha do inventário da produção agrícola [32] os valores relativos ao inventário resultam das informações fornecidas pelos produtores agrícolas do Tadjiquistão que cederam os dados referentes ao consumo de água, combustível (diesel), fertilizantes e pesticidas.

O método de produção de algodão convencional é distinto do algodão orgânico. A produção de algodão convencional está associada ao consumo de fertilizantes e pesticidas que contribuem para o impacto ambiental. No estudo é possível verificar que a área ocupada pela agricultura orgânica é distinta da convencional. A produção de algodão convencional apresenta um maior rendimento em comparação com a produção de algodão orgânico. O uso intensivo de produtos químicos permite um maior rendimento no crescimento da planta.

O consumo de água está associado aos sistemas de irrigação implementados sendo esta proveniente de águas subterrâneas e fluviais, sendo que a informação foi reportada pelos fornecedores. A eletricidade consumida consiste na mistura de 56% de energia hídrica, 22% de petróleo, 18% de gás e 4% de carvão, estas estimativas estão de acordo com a mistura aplicada no país. Os consumos dos produtos químicos aplicados na produção agrícola foram reportados pelo agricultor com base no nome comercial, tendo sido realizada uma seleção da classe química dos produtos e realizado o levantamento dos dados.

De acordo com o estudo, a aplicação de fertilizantes na raiz da planta provoca a emissão de metais pesados para o solo. As emissões foram estimadas através da base de dados SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) para identificação dos fatores de emissão dos fertilizantes. As emissões de pesticidas foram estimadas recorrendo ao relatório “Life Cycle Inventories For Bioenergy” na base de dados Ecoinvent.

A Tabela 6 apresenta o inventário referente à produção agrícola do algodão convencional e orgânico.

*Tabela 6- Inventário da etapa de produção agrícola do algodão reportada à unidade funcional [32]. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)*

	Convencional	Orgânico
<b>ENTRADAS</b>		
Uso do terreno (m <sup>2</sup> ) *	1,90	1,668
Sementes (Kg)	0,0350	0,0264
<b>Fertilizantes (Kg)</b>		
Nitrato de amónio, N	0,0876	-
Fosfato de nitrato de amónio, P	0,0698	-
Cloreto de potássio, K	0,0350	-
Fertilizantes Orgânicos	-	0,308
Estrume de aves	-	0,308
<b>Pesticidas (Kg)</b>		
Lambda-cyhalothrin	0,000105	-
Prometryn	0,000436	-

Diquat		0,00088	-
Água (Irrigação) m <sup>3</sup>		2,925	2,686
Eletricidade (Kwh)**		0,212	0,192
Diesel (L)		0,0297	7,612E-05
<b>Saídas</b>			
	<b>Emissões</b>	<b>Convencional</b>	<b>Biológico</b>
Ar	N <sub>2</sub> O	5,76E-04	1,38E-04
	NO <sub>x</sub>	1,21E-04	2,90E-05
	NH <sub>3</sub>	7,70E-04	2,09E-04
Água	Nitrato	7,79E-02	-
	Fósforo	8,64E-04	7,57E-04
	Fosfato	7,49E-05	6,60E-05
Solo	<b>Fertilizantes</b>		
	Cd	7,07E-06	4,95E-08
	Cu	2,17E-06	1,46E-05
	Zn	2,46E-05	1,98E-04
	Pb	5,75E-07	8,38E-07
	Ni	1,20E-06	3,10E-06
	Cr	3,59E-05	2,34E-06
	Hg	-	8,50E-08
	<b>Pesticidas</b>		
	Diquat	8,80E-04	-
	Lambda-Cyhalothrin	1,05E-04	-
Prometryn	4,36E-04	-	

\*A área do terreno é atribuída aos 6,5 meses de cultivo.

\*\* Eletricidade atribuída à etapa de Descaroçamento.

### 3.3.2. Produção da t-shirt de algodão

As etapas tecelagem, tingimento e lavandaria, estamparia, corte e confeção e embalagem foram modeladas com base na informação fornecida pelo grupo e complementada pela bibliografia para a etapa de fiação. Na Tabela 7, é apresentada uma visão geral das entradas e saídas das etapas de ciclo de vida para as t-shirt de algodão e orgânica. Assinala-se que não existem diferenças no inventário relativo ao algodão orgânico e convencional.

Tabela 7 - Inventário da produção de uma t-shirt de algodão convencional e biológica. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

	Fiação [33]	Tecelagem	Tingimento e Lavanderia	Estamparia **	Corte e Confeção	Embalagem
<b>ENTRADAS</b>						
<b>Energia (KWh)</b>						
Eletricidade	1,28E+00	2,03E-01	8,18E-01	2,69E-01	1,47E-01	4,90E-01
Gás	-	-	7,76E+00	1,51E-02	-	-
Água (m3)	2,00E-03	-	9,3E-02	1,56E-03	-	-
<b>Produtos Químicos (Kg)</b>						
Corantes	-	-	3,15E-02	6,87E-05	-	-
Auxiliares	-	-	1,27E-01	-	-	-
Pastas	-	-	-	3,96E-03	-	-
<b>Materiais (Kg)</b>						
Fio de algodão	-	3,53E-01	-	-	-	-
Fibra de algodão	4,23E-01	-	-	-	-	-
Embalagem de cartão	-	-	-	-	-	6,69E-01
Embalagem plástico	-	-	-	-	-	8,00E-03
<b>SAÍDAS</b>						
Produto final		2,98E-01	-	-	-	-
Resíduos Sólidos (Kg)	5,00E-03*	-	-	-	-	-
Fibras têxteis	-	4,49E-05	-	-	-	-
Papel e cartão	-	2,00E-03	9,92E-04	1,54E-03	-	-
Plástico	-	1,38E-04	4,57E-04	4,19E-04	-	-
Absorventes	-	-	-	3,21E-03	-	-
Embalagens contaminadas	-	-	1,29E-04	2,62E-04	-	-
<b>Emissões gasosas (Kg)</b>						
CO2	4,29E-01	-	**	**	-	-
CO	-	-	4,51E-04	-	-	-
NOx	-	-	1,77E-04	-	-	-
COV	-	-	4,80E-08	4,40E-04	-	-
Efluentes líquidos (m3)	2,00E-03	-	4,10E-02	2,18E-03	-	-

\*O estudo [33] não especifica o tipo de resíduos.  
\*\*As emissões gasosas associadas ao consumo de gás natural não foram estimadas nestes processos.

As etapas de ciclo de vida para a t-shirt de algodão convencional e orgânico são semelhantes. Por consequência os dados relativos à energia e água também são idênticos, visto que os processos e as variáveis não se alteram. Os produtos químicos utilizados nos processos na qual a matéria prima é orgânica, seguem o caderno de encargos da GOTS ou OCS. Ou seja, na manipulação da malha orgânica durante as etapas de produção vários requisitos são impostos pela norma GOTS/OCS/GRS. Os materiais em contacto com as malhas orgânicas têm de fazer parte da lista de produtos com certificação GOTS. No entanto, no presente estudo não há diferença nos produtos químicos utilizados para a produção da t-shirt orgânica e convencional, uma vez que os produtores de produtos químicos se adaptaram ao mercado de modo a modificar a composição química dos seus produtos cumprindo diversos cadernos de encargos, como por exemplo Inditex, GOTS, OCS, GRS e outras.

O fio de algodão é importado pelo grupo e, por isso, a etapa de fiação foi modelada recorrendo a dados bibliográficos e reportados à unidade funcional. Os dados referentes aos produtos químicos foram fornecidos por categorias, por exemplo corantes e auxiliares. No entanto aquando a introdução dos mesmos no SimaPro foi necessário recorrer a dados de modo a obter informação sobre a composição química dos produtos. A Tabela 8 apresenta os químicos e as bases de dados com detalhe sobre as composições químicas dos produtos químicos utilizados na modelação das etapas de tingimento, lavandaria e estamparia.

Tabela 8- Composição química dos produtos químicos da etapa de tinturaria, lavandaria e estamparia.

Químicos	Base de dados Ecoinvent usadas na modelação
Processo de tinturaria e lavandaria	
Pigmentos	50% Chemical, organic {GLO}  production   Alloc Def, U + 50% Chemical, inorganic {GLO}  production   Alloc Def, U
Sulfato de sódio (auxiliar)	Sodium sulfate, anhydrite {RoW}  sodium sulfate production, from natural sources   Alloc Def, U
Detergentes/surfatantes	Ethoxylated alcohol (AE7) {RoW}  ethoxylated alcohol (AE7) production, petrochemical   Alloc Def, U
Sal	Sodium chloride, powder {RoW}  production   Alloc Def, U
Soda cáustica	Neutralising agent, sodium hydroxide-equivalent {GLO}  soda ash, dense, to generic market for neutralising agent   Alloc Rec, S
Agentes anti-espuma	Silicone product {RoW}  production   Alloc Def, U
Ácido acético	Acetic acid, without water, in 98% solution state {RoW}  acetaldehyde oxidation   Alloc Def, U
Processo de estamparia	
Ureia	Urea, as N {RoW}  production   Alloc Def, U
Tintas base de água	Carboxymethyl cellulose, powder {RoW}  production   Alloc Def, U +
Tintas à base de água	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {RoW}  production   Alloc Def, U
Platisol	Polyvinylchloride resin (E-PVC), emulsion polymerisation, production mix, at plant RER *
*A partícula de PVC advém da composição química do platisol juntamente com pigmentos. Este tipo de produto químico não é utilizado na aplicação de tintas na malha orgânica.	



## Etapa de fiação

O processo de fiação permite transformar a fibra de algodão em fio, este processo não é realizado no Grupo, assim sendo os dados do inventário foram baseados na bibliografia e reportados à unidade funcional (Tabela 9). Nesta etapa predominam o consumo de eletricidade e a produção de resíduos têxteis (fibras de algodão).

Tabela 9- Inventário da etapa de fiação para as duas t-shirts de algodão. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

Etapa de Fiação		
Entradas		
Spinning, bast fibre {RoW}  processing   Alloc Def, U	4,23E-01	Kg
Electricity, medium voltage {RoW}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	1,28	kWh
Tap water {RoW}  tap water production, underground water without treatment   Alloc Def, U	2,00E-03	M <sup>3</sup>
Saídas		
Resíduos sólidos		
Waste, unspecified (resíduos de malha)	5,18E-03	Kg

## Tecelagem

O processo de tecelagem consiste na produção de malha através do fio, utilizando teares circulares ou seamless. O fio de algodão é a matéria prima utilizada nesta etapa, que após o processo de tecelagem produz malha em rolo. O processo de tecelagem está associado ao consumo intensivo de eletricidade nos teares circulares. Os dados do inventário relativos à etapa de tecelagem foram fornecidos pelo grupo Valérius relativos ao ano de 2019. O valor de eletricidade foi calculado através da eletricidade consumida pelos teares circulares, sendo esta reportada ao fabrico das t-shirts (massa de 0,255 kg). Os resíduos sólidos foram analisados através dos MIRR'S (Mapa Integrado de Registo de Resíduos) fornecidos e reportados à t-shirt de algodão. Na Tabela 10, são apresentados os dados do inventário relativos às entradas e saídas da etapa de tecelagem.

Tabela 10- Inventário da etapa de tecelagem para as duas t-shirts de algodão. Todos os valores reportam à UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

Etapa de Tecelagem		
Entradas		
Weaving, bast fibre {RoW}  processing   Alloc Def, U	3,53E-01	Kg
Electricity, medium voltage {PT}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	2,03E-01	kWh
Saídas		
Resíduos sólidos		
Packaging waste, paper and board	2,00E-03	Kg
Packaging waste, plastic	1,379E-04	Kg
Waste, unspecified (resíduos de malha)	4,489E-05	Kg

### Tingimento e lavandaria

No processo de tinturaria realizada no Grupo predominam o consumo energético, água e uso de produtos químicos. O consumo de eletricidade advém do funcionamento das máquinas de tingimento e das râmolas (equipamento que permite a polimerização do tingimento). O consumo de gás natural é utilizado para produção de calor e aquecimento das águas utilizadas durante o processo de tingimento. A água é utilizada no processo de tingimento propriamente dita, nos jets (equipamentos onde ocorre o tingimento). A malha após tingimento é lavada ainda dentro do jet para posterior secagem nas râmolas.

No processo de tingimento a etapa de preparação da receita de cores envolve o consumo de produtos químicos, nomeadamente corantes e auxiliares. Os dados fornecidos pelo grupo são relativos à categoria de produtos químicos mencionados. No entanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de modo a obter informação da composição química mais comum destes dois produtos e as respetivas percentagens. De acordo com os dados bibliográfico adquiridos foram realizados os cálculos reportando à unidade funcional.

No processo de lavandaria são realizados acabamentos químicos na malha. Nesta etapa predomina o consumo de energia, água e produtos químicos. O consumo elétrico está associado ao funcionamento das máquinas industriais. O consumo de água está associado à lavagem e impregnação de produtos químicos na malha.

Os valores de eletricidade, gás natural e água da etapa de tingimento e lavandaria foram são representativos do ano de 2019, tendo sido reportada à unidade funcional. Os relatórios ambientais relativos às emissões gasosas, resíduos sólidos e tratamento de águas residuais permitiram analisar os valores das saídas do processo e reportar à unidade funcional. Na tabela 11 são apresentadas as entradas e saídas da etapa de tingimento e lavandaria.

Tabela 11- Inventário da etapa de tingimento e lavanderia das duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

Etapa de Tingimento e lavanderia			
Entradas			
Tap water {RoW}  tap water production, underground water without treatment   Alloc Def, U	92,7	Kg	
Electricity, medium voltage {PT}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	0,42	kWh	
Electricity, high voltage {PT}  electricity production, natural gas, conventional power plant   Alloc Def, U	3,81	kWh	
Corantes	Chemical, organic {GLO}  production   Alloc Def, U	1,56E-02	Kg
	Chemical, inorganic {GLO}  production   Alloc Def, U	1,56E-02	Kg
Auxiliar	Sodium sulfate, anhydrite {RoW}  sodium sulfate production, from natural sources   Alloc Def, U	6,35E-02	Kg
Detergente	Ethoxylated alcohol (AE7) {RoW}  ethoxylated alcohol (AE7) production, petrochemical   Alloc Def, U	6,35E-03	Kg
Sal	Sodium chloride, powder {RoW}  production   Alloc Def, U	3,81E-02	Kg
Soda Cáustica (lavagem)	Neutralising agent, sodium hydroxide-equivalent {GLO}  soda ash, dense, to generic market for neutralising agent   Alloc Rec, S	1,78E-02	Kg
Agente anti espuma	Silicone product {RoW}  production   Alloc Def, U	2,54E-04	Kg
Ácido Acético	Acetic acid, without water, in 98% solution state {RoW}  acetaldehyde oxidation   Alloc Def, U	1,02E-03	Kg
Saídas			
Resíduos sólidos			
Packaging waste, paper and board	9,92E-04	Kg	
Packaging waste, plastic	4,57E-04	Kg	
Hazardous waste, unspecified treatment	1,29E-04	Kg	
Emissões gasosas			
Carbon monoxide	4,51E-04	Kg	
VOC, volatile organic compounds	4,80E-08	Kg	
Nitrogen oxides	1,77E-04	Kg	
Emissões para a água			
Waste water	4,10E-02	M3	
COD, Chemical Oxygen Demand	6,70E-05	Kg	
BOD5, Biological Oxygen Demand	2,05E-05	Kg	
Nitrogen	5,36E-06	Kg	
Suspended solids, unspecified	1,43E-05	Kg	

## Estamparia

O processo de estamparia consiste na aplicação localizada de produtos químicos na malha. Este processo é responsável pelo consumo energético, nomeadamente eletricidade e gás natural. O gás natural é utilizado para produzir calor na etapa de polimerização após aplicação da tinta, sendo que este tipo de energia pode ser substituído pela eletricidade,

dependendo do tipo de equipamento. Os produtos químicos utilizados apresentam uma composição química idêntica à etapa de tinturaria. No entanto, semelhante à etapa de tinturaria foram fornecidos apenas as categorias de produtos químicos com maior consumo. Sendo assim, as composições químicas mais comuns dos produtos químicos foram recolhidas na bibliografia e reportados à unidade funcional. A composição química dos seus produtos não foi disponibilizada pelo fornecedor, sendo que na modelação foi necessário fazer uma pesquisa dos principais compostos químicos e as respetivas percentagens dos componentes. Os dados do inventário relativos ao consumo energético, hídrico e consumo de produtos químicos mais utilizados foram fornecidas pelo grupo relativo ao ano transato (2019), e reportados à unidade funcional. Relativamente às saídas do processo foram fornecidos relatórios ambientais, como o MIRR, relatórios de tratamento de águas residuais e emissões gasosas. A Tabela 12 apresenta os dados do inventário da etapa de estamparia

Tabela 12- Inventário da etapa de estamparia para as duas t-shirts. Todos os valores reportam à UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

Etapa de Estamparia		
Entradas		
Water, deionised, from tap water, at user {RoW}  production   Alloc Def, U	1,56	Kg
Electricity, medium voltage {PT}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	2,69E-01	Kg
Electricity, high voltage {PT}  electricity production, natural gas, conventional power plant   Alloc Def, U	1,51E-02	kWh
Chemical, organic {GLO}  production   Alloc Def, U	3,43E-05	Kg
Chemical, inorganic {GLO}  production   Alloc Def, U	3,43E-05	Kg
Urea, as N {RoW}  production   Alloc Def, U	1,47E-04	Kg
Water, deionised, from tap water, at user {RoW}  production   Alloc Def, U	2,77E-03	Kg
Carboxymethyl cellulose, powder {RoW}  production   Alloc Def, U	5,88E-05	Kg
Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer {RoW}  production   Alloc Def, U	6,99E-04	Kg
Polyvinylchloride resin (E-PVC), emulsion polymerisation, production mix, at plant RER	2,79E-04	kg
Saídas		
Resíduos sólidos		
Packaging waste, paper and board	1,54E-03	Kg
Packaging waste, plastic	4,19E-04	Kg
Hazardous waste, unspecified treatment	3,21E-03	Kg
Sludge, hazardous	4,71E-04	Kg
Packaging waste, contaminated	2,62E-04	Kg
Emissões gasosas		
VOC, volatile organic compounds	4,40E-04	Kg
Emissões para a água		
Waste water/m3	2,18E-03	M3

## Confeção e corte

Na etapa de confeção predomina o consumo de eletricidade utilizado para as máquinas de costura. No Grupo a etapa confeção da produção definiu-se que as saídas do processo não seriam contabilizadas, uma vez que a produção de resíduos é reduzida. Os dados da eletricidade consumida são referentes a 2019, sendo que cerca de 80% da eletricidade consumida é referente ao corte e 20% à etapa de confeção. A Tabela 13 apresenta os dados do inventário da etapa de corte.

Tabela 13- Inventário da etapa de corte para as duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

Entradas		
Electricity, medium voltage {PT}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	1,47E-01	kWh

## Embalagem

Na embalagem predomina o consumo de energia (eletricidade), caixas de cartão e sacos de plástico. O consumo energético da fase de embalagem é resultado do processo de engomagem, etapa que precede a embalagem do produto. Cada t-shirt é colocada numa embalagem de plástico. As caixas de cartão têm a capacidade para transportar 80 t-shirts embaladas. A Tabela 14 apresenta os dados do inventário.

Tabela 14- Inventário da etapa de embalagem para as duas t-shirts. Todos os valores reportam á UF= 1 t-shirt (algodão convencional e algodão orgânico)

Entradas		
Folding boxboard/chipboard {RoW}  chipboard production, white lined   Alloc Def, U	0,67	Kg
Packaging film, low density polyethylene {RoW}  production   Alloc Def, U	8,00E-03	Kg
Electricity, medium voltage {PT}  electricity voltage transformation from high to medium voltage   Alloc Def, U	0,49	kWh

#### ***4. Avaliação dos impactes ambientais e discussão***

Neste capítulo são quantificados os impactes ambientais associados à t-shirt de algodão convencional e orgânico, sendo realizada uma análise detalhada de cada um dos resultados obtidos para cada uma das fases do ciclo de vida da t-shirt. A modelação foi realizada no SimaPro 8.5.2.0, com base no método de avaliação CML-IA baseline V3.04/EU 25 e obtiveram-se os resultados que permitem comparar as diferentes fases do ciclo de vida relativamente aos dois tipos de algodão: convencional e orgânico.

Apenas foram avaliados os impactes ambientais considerando a etapa de classificação e caracterização e por recurso ao SimaPro. As categorias de impacte utilizadas neste estudo são: depleção abiótica, depleção abiótica (combustíveis fósseis), aquecimento global, depleção da camada de ozono, toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade da água marinha, ecotoxicidade terrestre, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização.

Neste capítulo são obtidos os resultados da contribuição relativa dos poluentes relativos a cada etapa de ciclo de vida das matérias-primas referente a cada categoria de impacte. Assim sendo, ao longo da secção serão apresentados os resultados referentes a cada matéria-prima, assim como uma avaliação comparativa dos impactes ambientais associados a cada tipo de algodão.

##### ***4.1. Comparação dos impactes entre as duas t-shirts: algodão convencional vs algodão orgânico***

Os resultados obtidos (Figura 5, Tabela 15) permitem avaliar e comparar os impactes ambientais associados à t-shirt de algodão orgânico e convencional. Verifica-se, como seria expectável, que a t-shirt de algodão convencional está associada uma maior contribuição em todas as categorias de impacte ambiental. Em seguida, são comparadas as magnitudes dos impactes para as duas t-shirts, bem como são identificadas as razões associadas às contribuições para o impacte.

Para a categoria de impacte de **depleção abiótica**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 89% do obtido pela t-shirt de algodão orgânico. Esta categoria está relacionada com o uso de recursos naturais utilizados durante as etapas de ciclo de vida. Os fertilizantes e pesticidas utilizados na etapa de produção agrícola do algodão convencional recorrem ao uso de recursos naturais. Assim sendo, é esperado que o contributo desta categoria seja expressivo na produção de algodão convencional, na qual a aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo provoca a poluição do solo e das águas subterrâneas.

Para a categoria de impacto ambiental de **depleção abiótica (combustíveis fósseis)**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 51%. Esta categoria de impacto está relacionada com a extração de combustível fóssil consumido ao longo do ciclo de vida da t-shirt de algodão convencional e orgânico. O consumo de combustíveis fósseis está presente na produção de eletricidade, produção de gás natural, produção de diesel utilizado nas máquinas industriais. O contributo desta categoria de impacto é semelhante para as duas t-shirts, uma vez que estas são sujeitas a processos idênticos durante o ciclo de vida. O consumo de eletricidade é também semelhante para as duas t-shirts de algodão.

Para a categoria de impacto de **aquecimento global**, as t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 52%. Esta categoria está relacionada com a emissão de gases de efeito de estufa, provocada pela combustão de gás natural, diesel e emissões relacionadas com a produção de eletricidade.

Para a categoria de impacto de **depleção da camada de ozono**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 52%. Esta categoria está relacionada com a emissão de compostos para a atmosfera que contribuem para a depleção da camada de ozono. Os processos associados à combustão de gás natural utilizado nas etapas de tinturaria, lavandaria e estamparia, assim como o consumo de eletricidade e diesel são responsáveis pelas emissões de CFC's para a atmosfera. O consumo de eletricidade é notório ao longo do ciclo de vida, utilizado para o funcionamento das máquinas. O gás natural é utilizado para aquecimento das águas, assim como para a produção de vapor e calor. O diesel é utilizado na etapa de produção agrícola, nas etapas de aplicação dos fertilizantes e pesticidas e para a etapa de descaroçamento. O algodão orgânico apresenta uma ligeira redução em relação ao algodão convencional, uma vez que nesta matéria prima não são aplicados fertilizantes e pesticidas, não sendo necessário recorrer a máquinas agrícolas.

Para a categoria de impacto de **toxicidade humana**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 52%. Esta categoria diz respeito às substâncias tóxicas que são lançadas no ambiente. As etapas de produção agrícola estão associadas à aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo que provocam a contaminação do solo e das águas subterrâneas. No entanto, nas etapas de tingimento, lavandaria e estamparia o consumo de produtos químicos com substâncias tóxicas é notória, contribuindo para o impacto ambiental. A t-shirt de algodão orgânico apresenta uma ligeira redução nesta categoria de impacto, uma vez que na etapa de produção agrícola são aplicados fertilizantes naturais, no entanto, estes também contribuem, numa escala menor, em relação aos fertilizantes sintéticos.

Para a categoria de impacto de **ecotoxicidade da água doce**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 61%. Esta categoria de impacto refere-se às emissões de substâncias tóxicas para os ecossistemas de água doce, assim como para o ar e solo. Durante o ciclo de vida da t-shirt de algodão, a produção convencional de algodão está associada à utilização de fertilizantes sintéticos e pesticidas, na qual através de

processos de lixiviação promove a contaminação das águas subterrâneas e reservas de água doce. Assim como, na produção de algodão orgânico as aplicações de fertilizantes orgânicos apresentam metais pesados na sua composição que contribuem para o impacto ambiental da água doce. Assim sendo, é esperado que o contributo do algodão convencional seja superior ao algodão orgânico.

Para a categoria de impacto de **ecotoxicidade marinha**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 53%. Esta categoria de impacto refere-se à emissão de substâncias tóxicas para os ecossistemas de água marinha, assim como para o ar e solo. Para além das razões mencionadas na categoria de impacto de ecotoxicidade da água doce, os produtos químicos utilizados nas etapas de tinturaria, lavandaria e estamparia contribuem para a categoria de impacto. Os produtos químicos utilizados apresentam substâncias tóxicas, na qual durante a sua utilização são libertadas na água, ar ou solo. Visto que os processos de enobrecimento têxtil são semelhantes o contributo é semelhante para as duas matérias-primas.

Para a categoria de impacto de **ecotoxicidade terrestre**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 75%. Esta categoria de impacto refere-se à emissão de substâncias tóxicas para o ecossistema terrestre. A produção agrícola apresenta um elevado contributo devido ao uso de fertilizantes e pesticidas, assim como o consumo de diesel para a maquinaria agrícola. A diferença no tipo de prática agrícola utilizada justifica o impacto ambiental superior no algodão convencional, uma vez que é a única etapa em que há diferenças entre matérias primas.

Para a categoria de impacto de **oxidação fotoquímica**, a t-shirt de algodão apresenta um contributo de 55%. Esta categoria de impacto refere-se à formação de substâncias reativas, principalmente contendo azoto, prejudiciais para os ecossistemas e para a saúde humana. Nos processos de combustão de combustível ocorre a libertação de substâncias reativas, geradas durante a combustão de diesel, gás natural e na produção de eletricidade. O consumo de diesel está associado à etapa de produção agrícola do algodão convencional, sendo que este apresenta um impacto ligeiramente superior ao algodão orgânico. As restantes etapas de ciclo de vida associadas ao consumo de eletricidade e gás natural são semelhantes no processamento da t-shirt de algodão convencional e orgânico. Assim sendo, o impacto ambiental é ligeiramente semelhante para os dois tipos de algodão, a diferença é notória na etapa de produção agrícola.

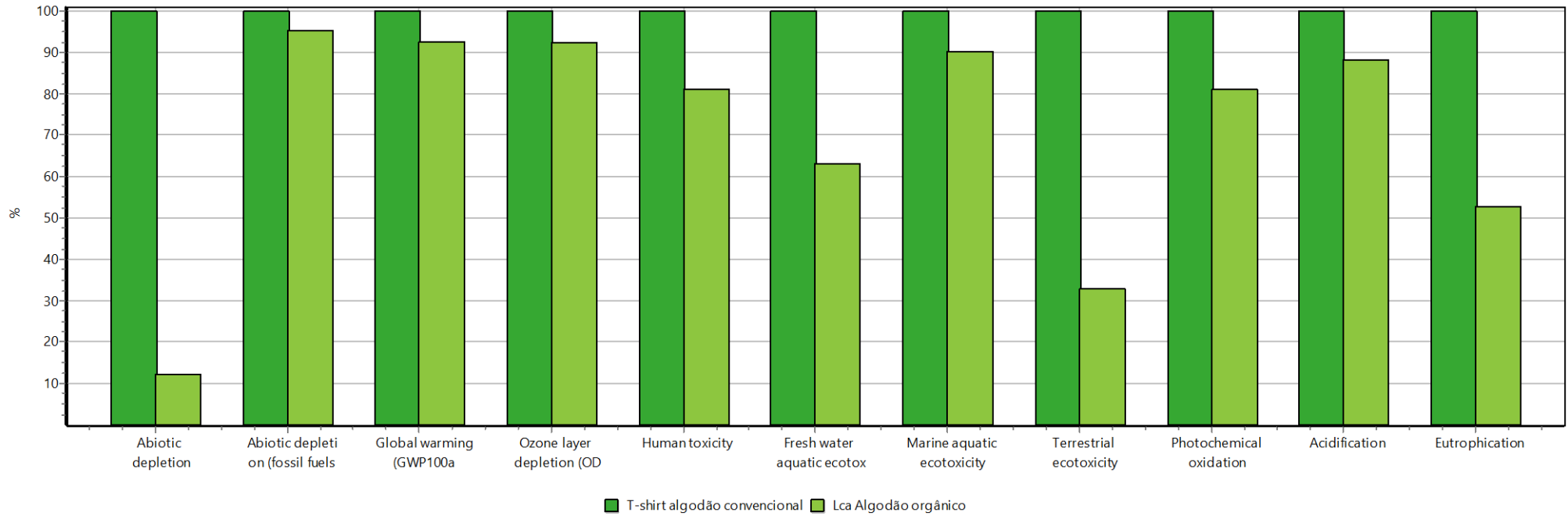
Para a categoria de impacto de **acidificação**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 53%. Esta categoria de impacto refere-se à emissão de substâncias ácidas para o meio ambiente. A etapa de produção agrícola influencia negativamente esta emissões. Sendo que as substâncias mais relevantes para esta categoria são as provenientes da combustão de diesel, gás natural e provenientes da produção de eletricidade. Sendo assim, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo ligeiramente superior devido ao diesel consumido na maquinaria agrícola para aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo.



Para a categoria de impacto de **eutrofização**, a t-shirt de algodão convencional apresenta um contributo de 66%. Esta categoria de impacto refere-se à contaminação do meio ambiente através de nutrientes, nomeadamente fósforo. A t-shirt de algodão convencional apresenta um maior contributo para esta categoria de impacto devido ao uso de fertilizantes sintéticos, na qual apresentam fósforo na sua composição.

Tabela 15- Comparação dos impactos ambientais associados a cada t-shirt de algodão.

Categoria de Impacte	Algodão convencional	Algodão orgânico	Unidade
Depleção abiótica	8,66E-05	1,06E-05	kg Sb <sub>eq</sub>
Depleção abiótica (combustíveis fósseis)	1,58E+02	1,51E+02	MJ
Aquecimento global	1,16E+01	1,07E+01	kg CO <sub>2</sub> <sub>eq</sub>
Depleção da camada de ozono	1,25E-06	1,15E-06	kg CFC <sup>-11</sup> <sub>eq</sub>
Toxicidade Humana	1,92E+00	1,55E+00	kg 1,4 <sup>-DB</sup> <sub>eq</sub>
Ecotoxicidade da água doce	2,18E+00	1,38E+00	kg 1,4 <sup>-DB</sup> <sub>eq</sub>
Ecotoxicidade Marinha	6,20E+03	5,60E+03	kg 1,4 <sup>-DB</sup> <sub>eq</sub>
Ecotoxicidade Terrestre	1,20E-01	3,95E-02	kg 1,4 <sup>-DB</sup> <sub>eq</sub>
Oxidação fotoquímica	2,40E-03	1,95E-03	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> <sub>eq</sub>
Acidificação	3,82E-02	3,37E-02	kg SO <sub>2</sub> <sub>eq</sub>
Eutrofização	2,22E-02	1,16E-02	kg PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> <sub>eq</sub>



A comparar 1 p 'T-shirt algodão convencional' com 1 p 'Lca Algodão orgânico'; Método: CML-IA baseline V3.04 / EU25 / Caracterização

Figura 5 - Comparação da t-shirt de algodão orgânico Vs algodão convencional.

## 4.2. T-shirt de algodão convencional e orgânica

Com base nos resultados obtidos foi possível avaliar os impactes ambientais associados às distintas etapas de ciclo de vida da t-shirt de algodão convencional (Figura 6).

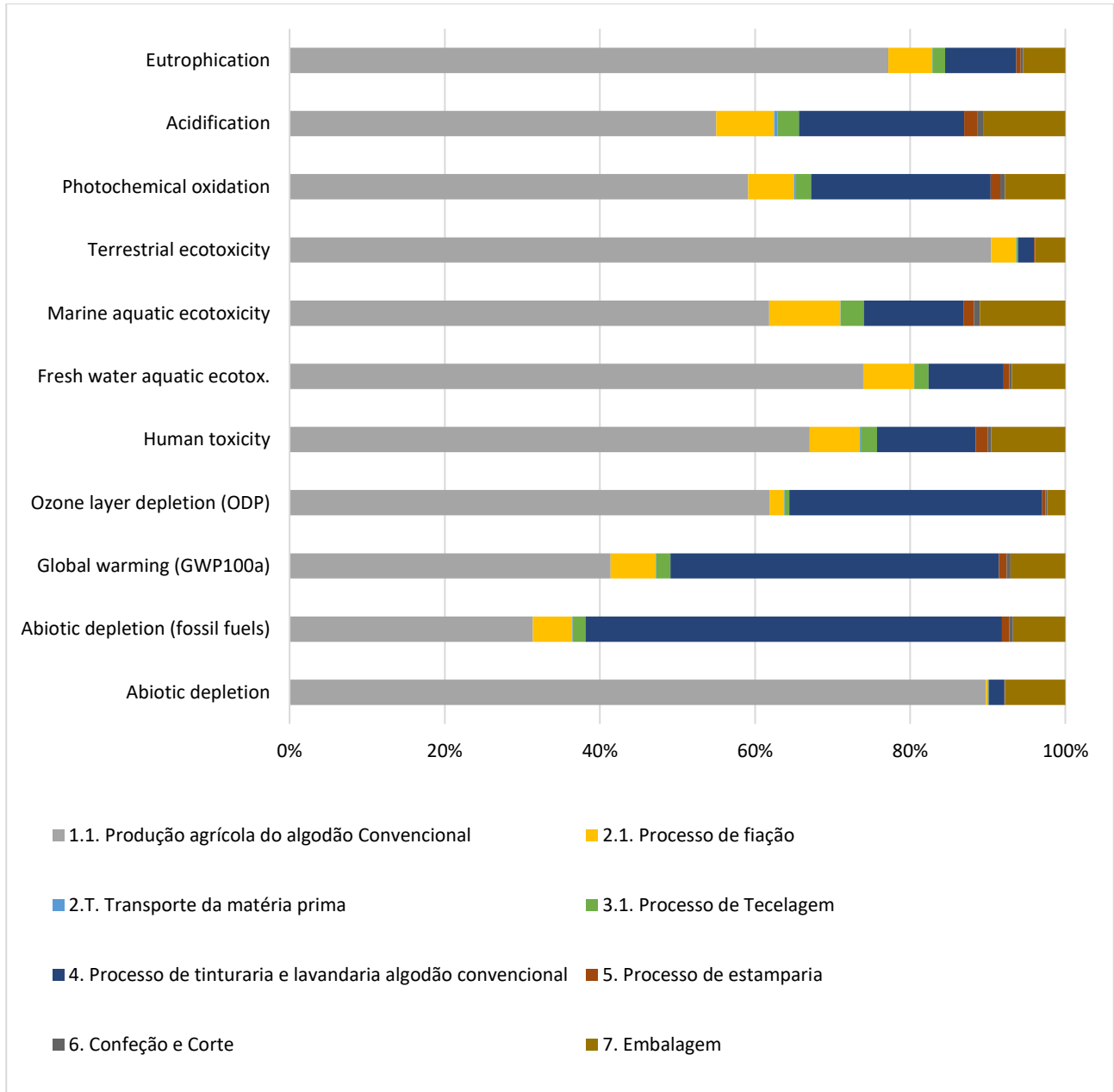


Figura 6 - Contribuição relativa de cada etapa de ciclo de vida da t-shirt de algodão convencional para o impacte ambiental total.

A etapa de produção agrícola do algodão convencional é a etapa com maior contributo ao longo do ciclo de vida da produção de uma t-shirt de algodão convencional, exceto na categoria de impacte de depleção abiótica (combustíveis fósseis) na qual predomina a etapa de tinturaria e lavandaria. O seu contributo relativo é notório na maioria das categorias de impacte, nomeadamente, depleção abiótica, depleção da camada de ozono, toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização. A etapa de tinturaria e lavandaria é a segunda etapa com maior contributo para o impacte ambiental no aquecimento global. A etapa de embalagem corresponde à terceira etapa com maior contributo para o impacte ambiental, nomeadamente na categoria de impacte de depleção abiótica. As etapas de fiação, estamparia e confeção e corte apresentam uma contribuição reduzida nas categorias de impacte avaliadas. A etapa de transporte apresenta uma contribuição nula nas categorias de impacte.

Com base nos resultados obtidos foi possível avaliar os impactes ambientais associados às distintas etapas de ciclo de vida da t-shirt de algodão orgânico (Figura 7).

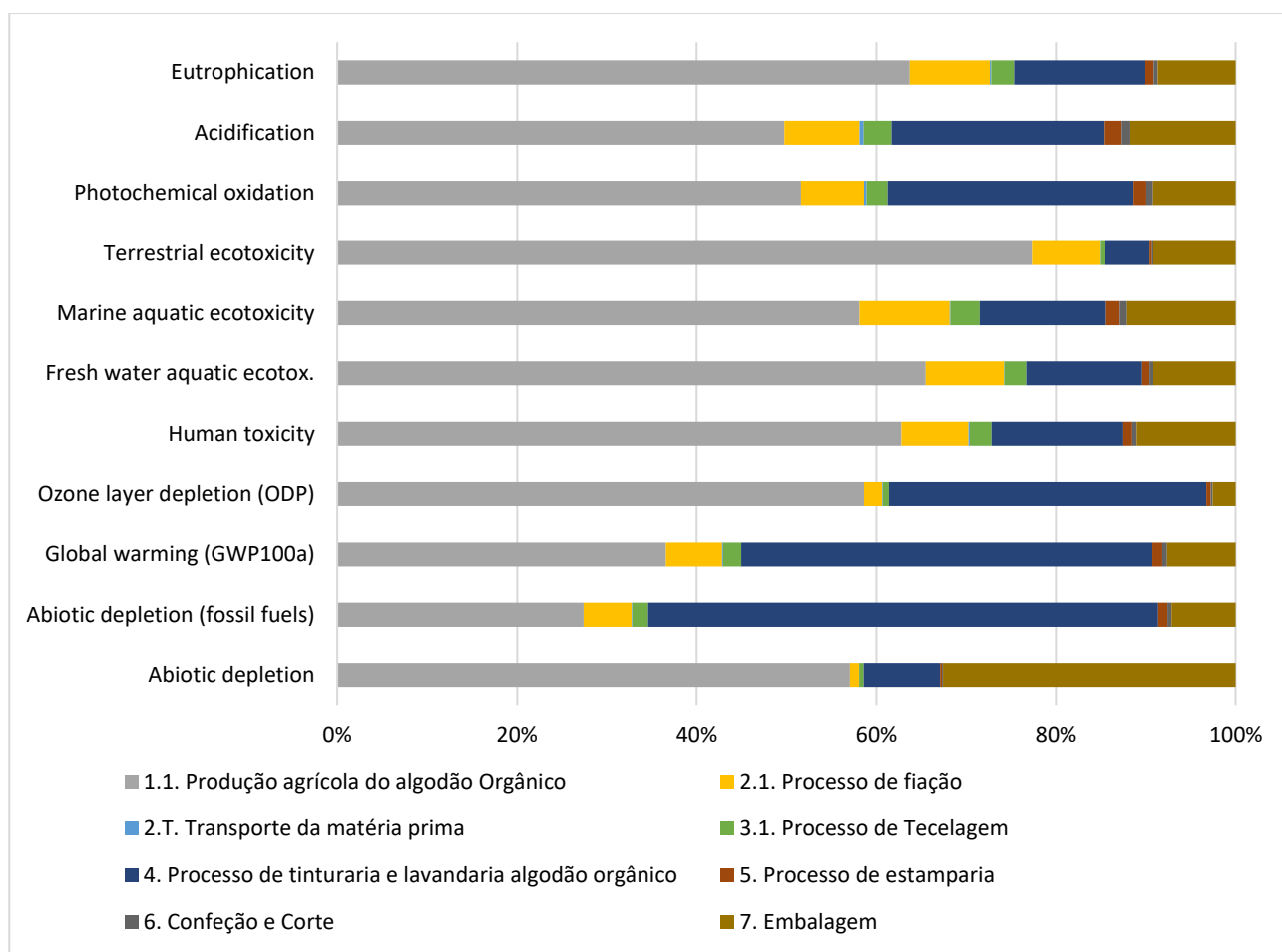


Figura 7- Contribuição relativa de cada etapa de ciclo de vida da t-shirt de algodão orgânico para o impacte ambiental total.

À semelhança da t-shirt de algodão convencional a etapa de produção agrícola é a etapa com maior contributo para o impacte, seguida da etapa de tingimento. No presente estudo apenas a etapa de produção agrícola é distinta para as duas t-shirts de algodão. Sendo assim, serão analisados em detalhe as etapas de produção agrícola do algodão convencional e o algodão orgânico relativamente ao impacte ambiental. As etapas de tingimento e lavandaria e a etapa de embalagem foram analisadas com maior detalhe de modo a avaliar a origem do impacte ambiental.

#### 4.2.1. Produção agrícola do algodão convencional

A produção agrícola do algodão convencional é a etapa de ciclo de vida com maior impacte ambiental para ambas as t-shirt de algodão, deste modo esta foi analisada com maior detalhe. A Figura 8 apresenta o contributo relativo de cada atividade no impacte total na etapa de produção agrícola convencional.

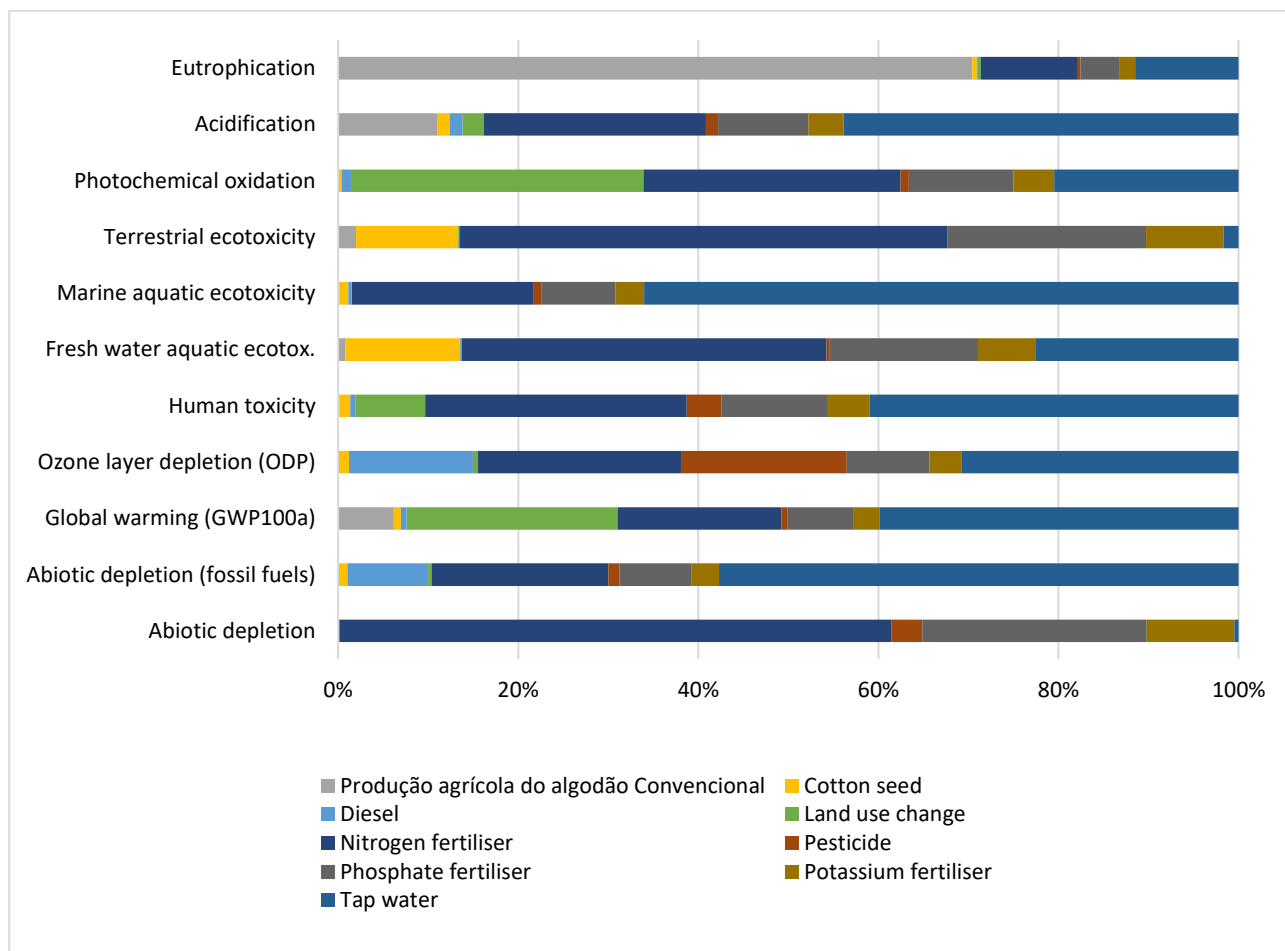


Figura 8- Contribuição relativa da etapa de produção agrícola do algodão convencional.

A etapa de produção agrícola consiste na plantação, crescimento e colheita da planta de algodão. Esta etapa está associada à ocupação territorial necessária para responder às necessidades da indústria, visto que o crescimento do algodão é um processo moroso. O consumo de água é intensivo, estando acoplado à contaminação da água e do solo a aplicação de fertilizantes e pesticidas que permite uma maior eficiência no crescimento da planta.

O consumo de água é o maior contribuidor para o impacto ambiental nas categorias de aquecimento global, depleção abiótica (combustível fóssil), toxicidade humana, depleção da camada de ozono, ecotoxicidade da água marinha e acidificação. Sendo este um recurso natural, e sendo o setor agrícola um dos maiores consumidores justifica que a água é o elemento com maior contributo para o impacto ambiental. Paralelamente ao consumo de água, os fertilizantes e pesticidas são o segundo maior contributo para o impacto ambiental nas categorias de impacto de depleção abiótica (100%), ecotoxicidade da água doce (63%) e ecotoxicidade terrestre (85%).

A produção de fertilizantes é uma fonte de emissão de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$  contribuindo para a categoria de impacto de acidificação. Durante o cultivo do algodão ocorre processos de lixiviação que permitem a penetração dos fertilizantes na raiz da planta, contribuindo para a emissão de poluentes derivados dos fertilizantes e pesticidas para o solo e para as águas subterrâneas. As emissões para o solo são baseadas em metais pesados tais como, crómio, cádmio, níquel, chumbo e zinco.

O contributo relativo da aplicação de pesticidas na planta é inferior relativamente à aplicação de fertilizantes. Os fertilizantes de azoto apresentam um maior impacto ambiental em relação aos fertilizantes de potássio e fósforo. O azoto é o principal macronutriente que influencia o crescimento das plantas e o aumento do rendimento das culturas agrícolas. No entanto a sua produção está associada à libertação de gases de efeito de estufa.

O aquecimento global é causado pela ocupação do solo (23%), consumo de fertilizantes e pesticidas (29%) e consumo de água para irrigação (40%). O consumo de combustível fóssil (diesel) para a maquinaria agrícola (14%), consumo de fertilizantes e pesticidas (54%) e consumo de água (31%) contribuem para a categoria de depleção da camada de ozono.

Os sistemas de irrigação devem ser otimizados assim como a gestão da ocupação de solo dos terrenos de plantação de algodão. A aplicação de fertilizantes e pesticidas nas práticas agrícolas convencionais deverá ser otimizada, principalmente a aplicação de fertilizantes de azoto. A rotação de culturas é uma alternativa à aplicação de fertilizantes tornando os solos mais férteis, evitando a sua contaminação.

### 4.2.1. Produção agrícola algodão orgânico

A etapa de produção agrícola é a etapa do processo com um maior contributo relativo para o impacte ambiental. A Figura 9 apresenta a contribuição relativa de cada atividade da etapa de produção agrícola para o impacte ambiental total.

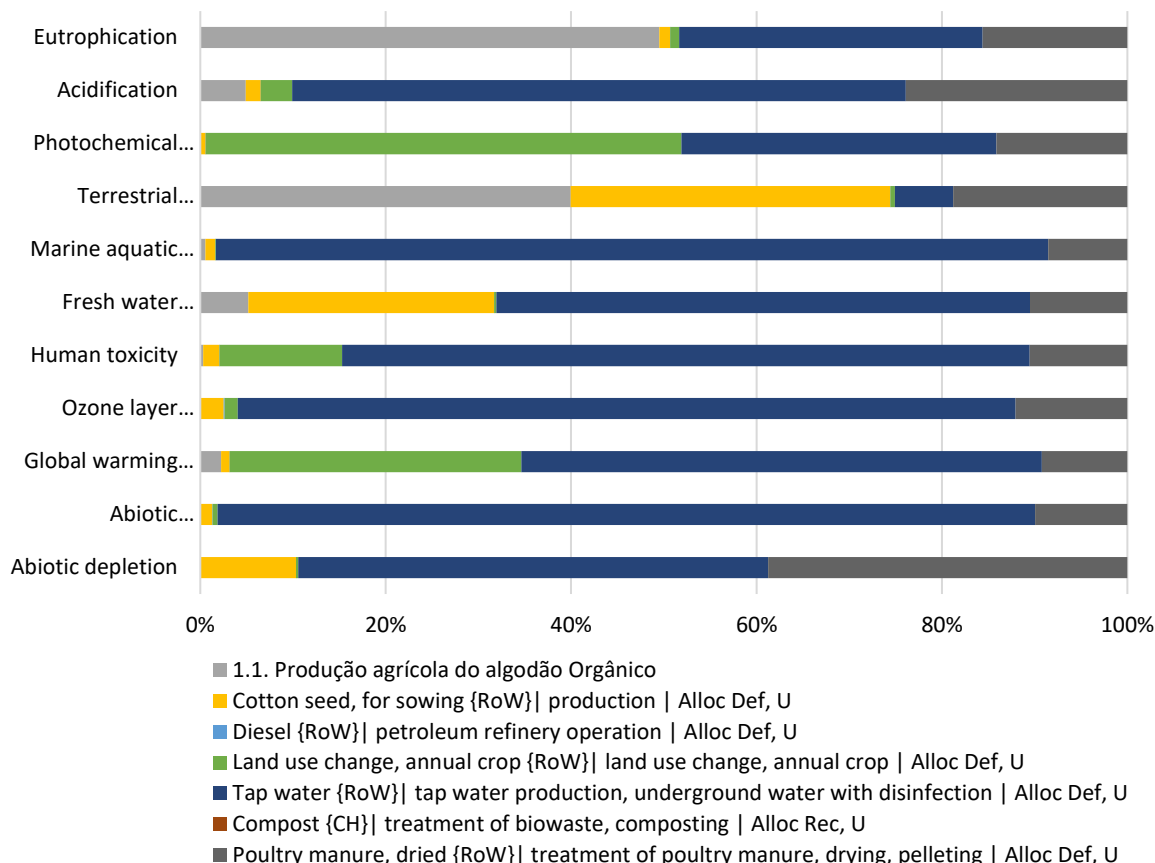


Figura 9- Contribuição relativa da etapa de produção agrícola da t-shirt de algodão orgânico para o impacte ambiental total.

Na etapa de produção agrícola do algodão orgânico o consumo intensivo de água é o maior contribuidor para a maioria das categorias de impacte, nomeadamente a depleção abiótica, depleção abiótica (combustíveis fósseis), aquecimento global, depleção da camada de ozono, toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce, ecotoxicidade marinha e acidificação.

Os fertilizantes orgânicos utilizados na produção de algodão orgânico representam o segundo maior contributo para o impacte ambiental. O adubo natural não apresenta qualquer influência relativamente às categorias de impacte ambiental, no entanto o estrume de galinha apresenta um impacte de 39% na categoria de depleção abiótica e cerca de 13% nas restantes categorias de impacte. O estrume de galinha apresenta nitrato

e fósforo na composição o que potencia a poluição das águas superficiais e subterrâneas e do solo.

A categoria de impacte de ecotoxicidade terrestre e ecotoxicidade da água doce é causada pela produção de sementes de algodão (34% e 27%, respetivamente), na qual envolvem processos químicos (limpeza, preparação químicos, enchimento da semente).

O uso da terra e o consumo de água estão associado ao rendimento da produção agrícola, ou seja, rendimento mais elevados está associado a menos necessidade de terra e água. A utilização de fertilizantes orgânicos e a aplicação de sistemas de irrigação mais eficientes contribuem para um maior rendimento da produção agrícola.

#### 4.1.2. Processo de tinturaria e lavandaria para a as duas t-shirts de algodão

O processo de tinturaria e lavandaria do algodão convencional é a segunda etapa de ciclo de vida com maior impacte ambiental. A Figura 10 apresenta os resultados do impacte ambiental detalhada nos processos de tinturaria e lavandaria do algodão convencional.

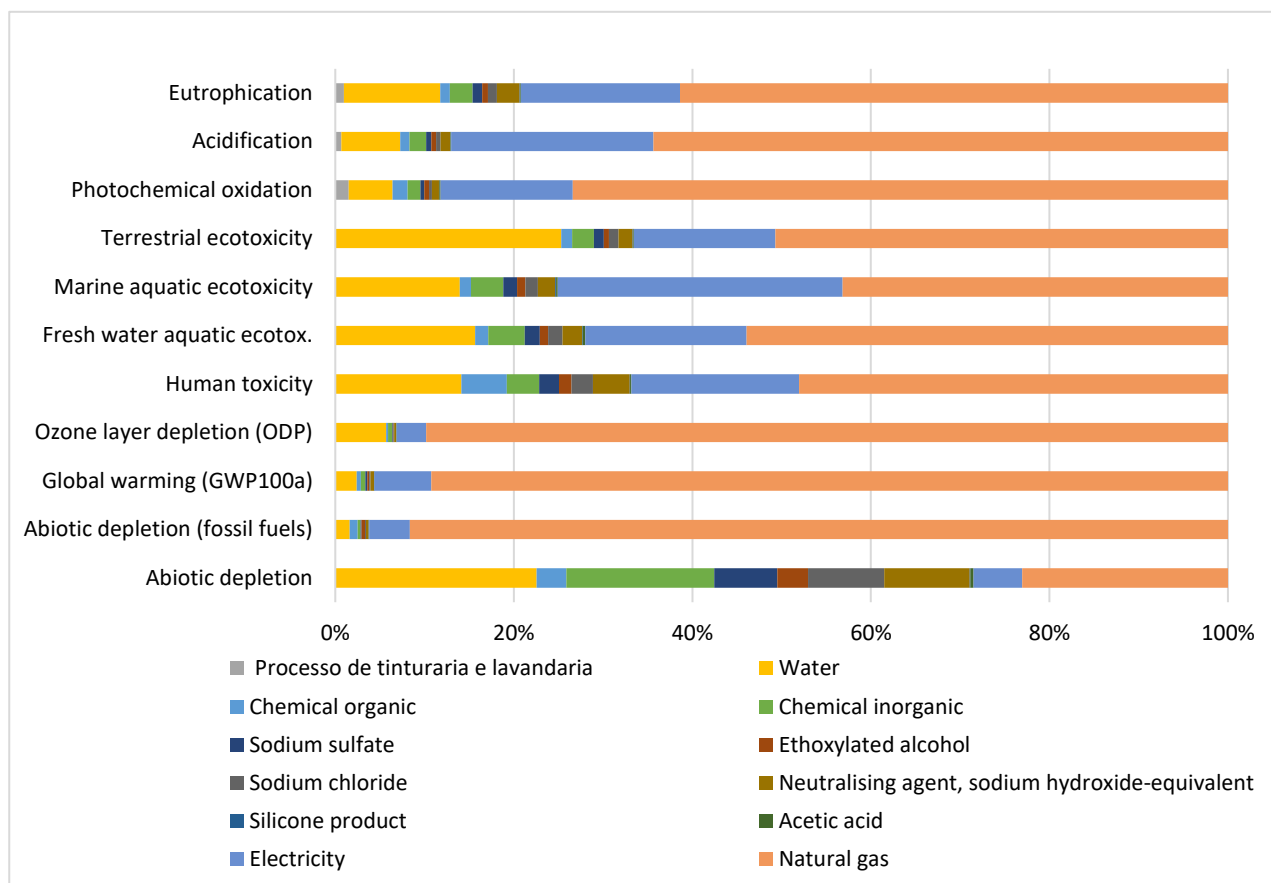


Figura 10-Contribuição relativa etapa de tinturaria e lavandaria da t-shirt de algodão convencional para o impacte ambiental total.



Na etapa de tingimento e lavanderia o consumo de recursos hídricos e energéticos são notórios durante o processo. Verifica-se que o impacto energético é relevante em todas as categorias de impacto ambiental. No entanto, o consumo de gás natural apresenta uma elevada contribuição relativa em comparação com o consumo de eletricidade. Este apresenta um maior contributo nas categorias de impacto de aquecimento global (89%), depleção da camada de ozono (90%) e depleção abiótica (92%).

O gás natural consumido durante as etapas do processo é utilizado para o aquecimento de água e produção de vapor nas caldeiras industriais, assim como para as fases de polimerização. A combustão de combustíveis fósseis é responsável pela emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

O consumo de água apresenta um menor contributo relativo em comparação com o consumo energético. No entanto, é notório nas categorias de impacto ambiental de depleção abiótica (23%), toxicidade humana (14%), ecotoxicidade da água doce (16%), ecotoxicidade marinha (14%) e ecotoxicidade terrestre (25%).

O resultado obtido relativamente ao impacto ambiental causado pelo consumo de água não é coerente com a informação analisada na bibliografia. O consumo de água e consequentemente a produção de águas residuais contaminadas seria a etapa com um maior impacto ambiental. Seria esperado que as categorias de impacto de toxicidade humana e ecotoxicidade da água doce e marinha seriam causadas maioritariamente pela produção de águas residuais contaminadas.

O consumo de produtos químicos contribui para a depleção abiótica (49%), toxicidade humana (19%), ecotoxicidade da água doce (12%) e ecotoxicidade da água marinha (11%), uma vez que o consumo de pigmentos e auxiliares têxteis é intensivo nestes processos. Estes produtos químicos contêm metais pesados, tais como mercúrio, cromo, zinco e chumbo na composição química que posteriormente são dissolvidos na água.

#### *4.2.2. Embalagem para as duas t-shirts de algodão*

Na etapa de embalagem do produto final o cartão é a etapa com maior contributo relativo em todas as categorias de impacto ambiental.

A embalagem de cartão inclui os processos de produção agrícola e os processos químicos de transformação de fibra celulósica em papel. Os processos de produção agrícola na produção de algodão são responsáveis pelo impacto ambiental, assim como os processos químicos aquando o processamento.

Na embalagem do produto orgânico e convencional a empresa não faz distinção no tipo de material utilizado para a embalagem do produto orgânico e convencional.

A Figura 11 apresenta a contribuição relativa de cada atividade de embalagem para o impacto ambiental total.

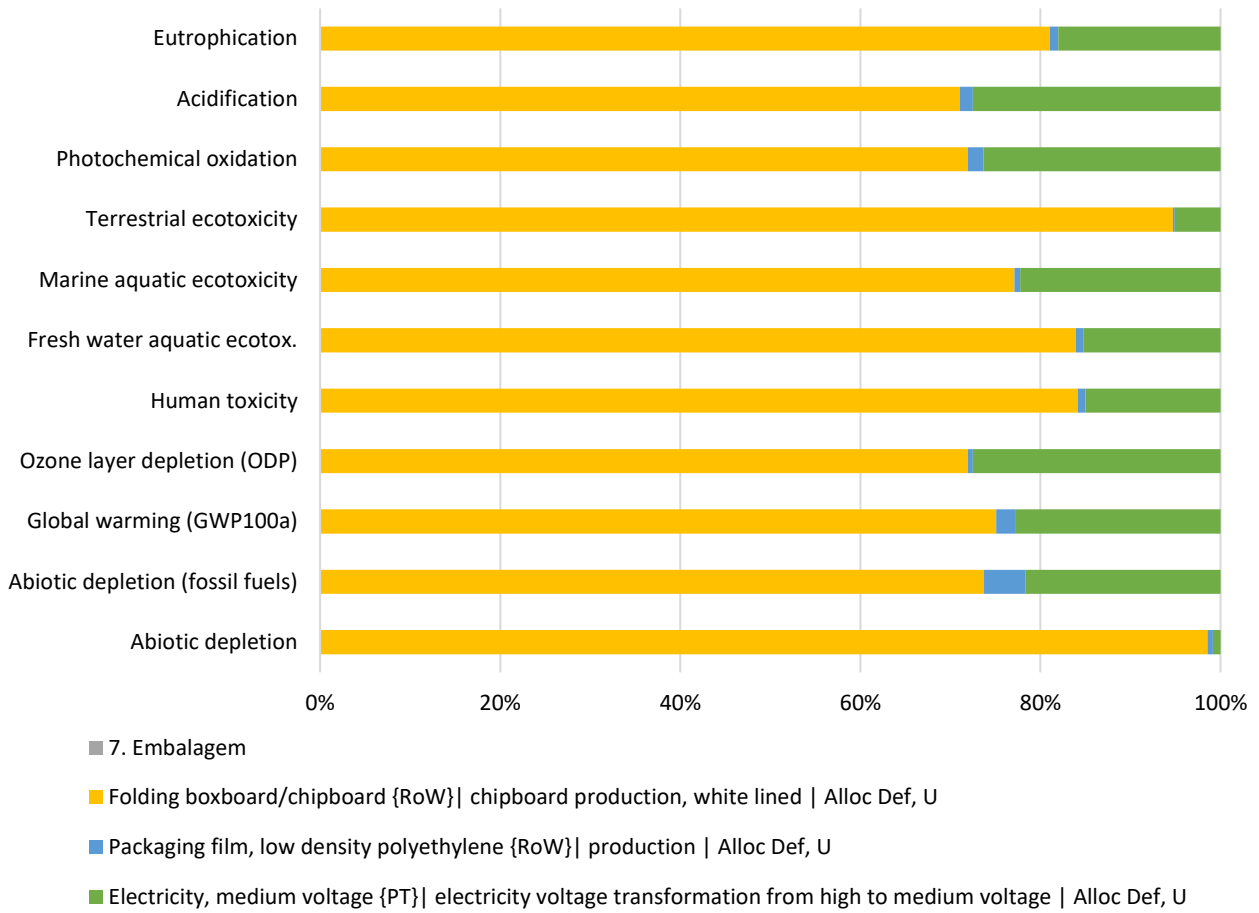


Figura 11-Contribuição relativa da etapa e embalagem da t-shirt de algodão para o impacto ambiental total.

## *5. Conclusões, limitações e perspectivas para trabalhos futuros*

O presente estudo visa estabelecer uma visão global do comportamento ambiental da produção de uma t-shirt de algodão orgânico e convencional, de modo a poder facultar ao cliente os impactes ambientais ao longo das etapas de ciclo de vida da t-shirt e identificar os aspetos críticos no que respeita à contribuição dos processos para o impacte ambiental dos produtos têxteis analisados.

Com o estudo conclui-se que a etapa de produção agrícola é a etapa com maior contributo para o impacte ambiental tanto para o algodão orgânico como para o convencional. O consumo de recursos hídricos e a aplicação do solo de fertilizantes e pesticidas são as principais causas contribuidoras para o impacte ambiental. No cultivo convencional, a produção de fertilizantes e a sua aplicação no solo estão associadas a um elevado impacte, uma vez que há contaminação das águas subterrâneas e superficiais, assim como o solo de metais pesados presentes na composição química maioritariamente dos fertilizantes. O cultivo orgânico utiliza fertilizantes orgânicos como estrume de aves, sendo que este causa um elevado impacte ambiental uma vez que apresenta metais pesados na sua composição. No entanto a eficiência na produção de algodão orgânico é menor que no algodão convencional. A planta de algodão orgânico por norma deverá crescer mais lentamente e a produtividade será menor, uma vez que não é aplicado fertilizantes que permitem um crescimento mais rápido.

A etapa de tinturaria e lavandaria é a segunda etapa com maior contributo para o impacte no ambiente, devido ao consumo de recursos hídricos e energéticos intensivos. A energia utilizada nesta etapa é maioritariamente gás natural, este é utilizado para aquecer água e produzir vapor para as caldeiras. No estudo conclui-se que o consumo de gás natural é a principal causa do impacte ambiental, seguido do consumo de água. É de realçar que ao consumo de água está associado a contaminação pelos produtos químicos utilizados e a produção de um efluente líquido. Os resultados são os esperados com exceção no consumo de água, que segundo a comparação com os dados bibliográficos seria a principal causa de impacte ambiental.

A etapa de embalagem é a terceira etapa com maior contributo, estando este associado ao consumo de eletricidade causada pelo processo de engomar os produtos, consumo de plástico e cartão para embalagem e expedição das encomendas. A produção de cartão advém de processos agrícolas que influenciam o impacte ambiental, como também o processo de fabrico da transformação da fibra celulósica para papel.

As etapas de fiação, tecelagem, confeção e corte devido ao consumo de energia, as produções de eletricidade apresentam um contributo reduzido para o impacte ambiental.

Os resultados da avaliação de ciclo vida de uma t-shirt de algodão convencional e orgânico estão de acordo com o esperado. Com base na revisão bibliográfica realizada, é possível concluir que a etapa de produção agrícola do algodão é a etapa com maior impacte ambiental. No entanto, a transformação de uma prática agrícola convencional para uma

prática orgânica promove a redução dos impactos ambientais. A etapa de tingimento é a segunda etapa com maior contributo causado pela aplicação de produtos químicos e consumo de recursos naturais que contribuem para o impacto ambiental. Conclui-se que os resultados obtidos são semelhantes aos resultados disponibilizados pela bibliografia consultada.

O estudo desenvolvido no grupo Valérius é representativo do cenário em Portugal e na Europa, no entanto não visa representar a produção mundial de uma t-shirt de algodão. Além disso, neste estudo foi analisado um modelo de t-shirt de algodão convencional e orgânico, sendo que os valores são representativos apenas de um produto. A cogeração é uma das medidas de melhoria que permite a produção de eletricidade promovendo o reaproveitamento de cerca de 70% da energia térmica proveniente dos combustíveis utilizados no processo.

A utilização de energias renováveis é uma das melhorias possíveis de modo a reduzir o impacto ambiental, como por exemplo a aplicação de painéis solares que permitem o consumo de eletricidade para as máquinas elétricas e o aquecimento de águas. A construção de ETAR interna que permite o tratamento das águas residuais e a reinserção da água tratada para o sistema é uma melhoria que poderá ser implementada numa empresa têxtil.

Em relação a perspetivas para trabalhos futuros salienta-se a avaliação do impacto ambiental de uma t-shirt de algodão reciclado e comparar os resultados com as duas t-shirts que foram avaliadas nesta dissertação. Visto que a etapa de produção agrícola do algodão é a etapa com maior contributo para o impacto ambiental, realizar um estudo sobre a otimização desta etapa com a utilização de produtos sustentáveis e otimizar o consumo de água. Outros estudos interessantes seriam a avaliação de t-shirts com diferentes percentagens de algodão na sua composição, de modo a perceber qual o impacto ambiental associado à t-shirt de algodão com outras fibras na sua composição, como por exemplo, o poliéster.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BOF Professional. 2019. “Exactly How Bad Is Fashion for the Planet? We Still Don’t Know for Sure.” Acedido a 2 de março de 2020. <https://www.businessoffashion.com/articles/professional/exactly-how-bad-is-fashion-for-the-planet-we-still-dont-know-for-sure>
- [2] Global Fashion Agenda. 2020. “Reversing climate change is fashion’s next big thing.” <https://globalfashionagenda.com/reversing-climate-change-is-fashions-next-big-thing/>
- [3] Małgorzata Koszewska. 2018. “CIRCULAR ECONOMY – CHALLENGES FOR THE TEXTILE AND CLOTHING INDUSTRY”. *AUTEX Research Journal*, Vol. 18, No 4: 338-347.
- [4] Bojarski, A.B., Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach. *Computers & Chemical Engineering*, 2009. 3(10): p. 1747-1759
- [5] Esteve-Turrillas, F.A. and M. de la Guardia. 2017. " Environmental impact of Recover cotton in textile industry". *Resources, Conservation and Recycling*. 116: p. 107-115.
- [6] Baydar, G., N. Ciliz, and A. Mammadov. 2015. " Life cycle assessment of cotton textile products in Turkey". *Resources, Conservation and Recycling*. 104: p. 213-223.
- [7] Statista. 2019. "Cotton production by country worldwide in 2018/2019". Acedido a 4 de janeiro 2020. <https://www.statista.com/statistics/263055/cotton-production-worldwideby-top-countries/>
- [8] 2019. “General description”. Acedido a 5 de março de 2020. <https://www.global-standard.org/the-standard/general-description.html>
- [9] “Global Recycle standard”. Acedido a 5 de março de 2020. <https://certifications.controlunion.com/pt/certification-programs/certification-programs/grs-global-recycle-standard>
- [10] ISO, ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework na ISO 14040:2006(E)2006, the International Organization for Standardization: Switzerland.
- [11] ISO, ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines na ISO 14044:2006(E), the International Organization for Standardization: Switzerland.
- [12]”How is cotton grown”. Acedido a 25 de maio de 2020. <https://cottonaustralia.com.au/how-is-cotton-grown>
- [13] “From Raw Cotton to Cotton Fabrics”. Acedido a 25 de maio de 2020. <https://www.toyota-industries.com/products/textile/process/>

- [14] Diana Morais Carvalho Pérez Soto. 2018. “Caracterização ambiental do setor têxtil em Portugal”. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro
- [15] J.Eichhoff, A.Hehl, S.Jockenhoewel, T.Gries. Textile fabrication technologies for embedding electronic functions into fibres, yarns and fabrics. Em Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers. 191-226. Tüde Kirstein
- [16] Regina Aparecida Sanches. 2006. “Procedimento para o Desenvolvimento de Tecidos de Malha a partir de Planejamento de Experimentos”. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia Mecânica.
- [17] Acedido em 3 de abril de 2020. <http://www.clothius.pt/pt/>
- [18] JACYARA MOREIRA MARTINS VIDART. 2013. “SIMULAÇÃO DA DIFUSÃO DE CORANTES REATIVOS EM FIBRAS DE ALGODÃO”. Tese de Mestrado, Universidade Estadual De Campinas - Faculdade de Engenharia Química.
- [19] Maria Madalena Alves Martins de Sá. 2008. “Aplicação de  $\beta$ -Ciclodextrinas no Tingimento de Materiais Têxteis”. Tese de Mestrado, Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- [20] Alexandra Inês Fernandes Vieira. 2016. “Melhoria de desempenho de um processo de tingimento e acabamento de malha”. Tese de Mestrado, Universidade do Minho - Escola de Engenharia.
- [21] S.C.Bathia. 2017. “Pollution Control in Textile Industry”. Woodhead Publishig India Pvt. Ltd: Sarvesh Devraj
- [22] Umweltbundesamt, Environmental standards in the textile and shoe sector. A guideline based on the brefs - best available techniques reference documents of the EU., 2011: Federal Environment Agency. Germany
- [23] Asim Kumar Roy Chowdhury. Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment. Em Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing. 1-39. S. S. Muthu (ed.)
- [24] A.K. Chapagain, A.Y. Hoekstra, H.H.G. Savenije, R. Gautam. 2005. “The water footprint of cotton consumption”. Value of Water Research Report Series No. 18
- [25] S. Palamutcu. 2010. “Electric energy consumption in the cotton textile processing stages”. Elsevier Ltd.
- [26] EMS - Textile Project. 2007. “Promotion of Energy Management Practices in the Textile Industries of Greece, Portugal, Spain and Bulgaria”. Europe Intelligent Energy Program.

- [27] MEENAXITIWARI AND SUDHA BABEL. 2013. "Air pollution in textile industry". JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE. Volume 8. Issue 1. 64-66.
- [28] Zeng-Wei, Y., Ya-Nan Z., Jun-Kui S., Xin L., Lei Huang. 2013. " Life-cycle assessment of continuous pad-dyeing technology for cotton fabrics". International Journal of Life Cycle Assessment. 18: p. 659-672.
- [29] Muruges, K.B. and M. Selvadass. 2013. "Life cycle assessment for the dyeing and finishing process of organic cotton knitted fabrics". Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, (2): p. 1-16.
- [30] Zhang, Y., Xin, L., Rufeng, X., Zengwei, Y. 2015 " Life cycle assessment of cotton T-shirts in China". International Journal of Life Cycle Assessment, . 20: p. 994-1004.
- [31] Steinberger, J.K., Friot, D., Jolliet, O. et al. A spatially explicit life cycle inventory of the global textile chain. Int J Life Cycle Assess 14, 443-455 (2009).
- [32] Cardoso, A. 2013. "LIFE CYCLE ASSESSMENT OF TWO TEXTILE PRODUCTS: WOOL AND COTTON". Dissertação de mestrado integrado em engenharia do ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [33] Kazan, H., Akgul, D. & Kerc, A. Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques. Clean Techn Environ Policy 22, 849-864 (2020).

## Anexo A – Resultados do SimaPro

Tabela 16- Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da t-shirt de algodão convencional e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte.

Categoria de Impacte	Produção agrícola	Fiação	Transporte da matéria Prima	Tecelagem	Tinturaria e lavandaria	Estamparia	Confeção	Embalagem	Total	Unidades
Depleção abiótica	9,10E-05	2,49E-07	2,91E-09	1,17E-07	2,06E-06	5,11E-08	2,02E-08	7,89E-06	1,01E-04	kg Sb eq
Depleção abiótica (combustíveis fósseis)	6,44E+01	1,04E+01	1,79E-01	3,39E+00	1,10E+02	1,97E+00	9,02E-01	1,39E+01	2,05E+02	MJ
Aquecimento global	6,50E+00	9,10E-01	1,24E-02	2,94E-01	6,65E+00	1,59E-01	7,62E-02	1,11E+00	1,57E+01	kg CO2 eq
Depleção da camada de ozono	1,87E-06	5,64E-08	1,99E-09	1,90E-08	9,86E-07	1,36E-08	5,88E-09	7,12E-08	3,03E-06	kg CFC-11 eq
Toxicidade Humana	2,63E+00	2,53E-01	4,12E-03	8,20E-02	4,99E-01	6,18E-02	1,68E-02	3,74E-01	3,92E+00	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade da água doce	2,77E+00	2,45E-01	1,16E-03	6,89E-02	3,62E-01	2,85E-02	1,18E-02	2,57E-01	3,74E+00	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Marinha	7,30E+03	1,08E+03	4,92E+00	3,55E+02	1,51E+03	1,65E+02	8,68E+01	1,30E+03	1,18E+04	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	1,29E-01	4,60E-03	1,84E-05	3,06E-04	2,95E-03	1,74E-04	8,39E-05	5,51E-03	1,43E-01	kg 1,4-DB eq
Oxidação fotoquímica	2,04E-03	2,04E-04	8,41E-06	6,86E-05	8,00E-04	4,20E-05	2,13E-05	2,69E-04	3,46E-03	kg C2H4 eq
Acidificação	3,33E-02	4,52E-03	2,59E-04	1,67E-03	1,29E-02	1,01E-03	5,25E-04	6,36E-03	6,06E-02	kg SO2 eq
Eutrofização	2,31E-02	1,68E-03	2,68E-05	4,82E-04	2,76E-03	1,73E-04	8,83E-05	1,63E-03	3,00E-02	kg PO4--- eq



Tabela 17- Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da t-shirt de algodão orgânico e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte.

Categoria de Impacte	Produção agrícola	Fiação	Transporte da matéria Prima	Tecelagem	Tinturaria e lavandaria	Estamparia	Confeção	Embalagem	Total	Unidades
Depleção abiótica	1,38E-05	2,49E-07	2,91E-09	1,17E-07	2,06E-06	5,11E-08	2,02E-08	7,89E-06	2,42E-05	kg Sb eq
Depleção abiótica (combustíveis fósseis)	5,32E+01	1,04E+01	1,79E-01	3,39E+00	1,10E+02	1,97E+00	9,02E-01	1,39E+01	1,94E+02	MJ
Aquecimento global	5,32E+00	9,10E-01	1,24E-02	2,94E-01	6,65E+00	1,59E-01	7,62E-02	1,11E+00	1,45E+01	kg CO2 eq
Depleção da camada de ozono	1,63E-06	5,64E-08	1,99E-09	1,90E-08	9,86E-07	1,36E-08	5,88E-09	7,12E-08	2,79E-06	kg CFC-11 eq
Toxicidade Humana	2,13E+00	2,53E-01	4,12E-03	8,20E-02	4,98E-01	6,18E-02	1,68E-02	3,74E-01	3,39E+00	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade da água doce	1,84E+00	2,45E-01	1,16E-03	6,89E-02	3,62E-01	2,85E-02	1,18E-02	2,57E-01	2,81E+00	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Marinha	6,25E+03	1,08E+03	4,92E+00	3,55E+02	1,51E+03	1,65E+02	8,68E+01	1,30E+03	1,08E+04	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	4,65E-02	4,60E-03	1,84E-05	3,06E-04	2,94E-03	1,74E-04	8,39E-05	5,51E-03	6,02E-02	kg 1,4-DB eq
Oxidação fotoquímica	1,51E-03	2,04E-04	8,41E-06	6,86E-05	8,00E-04	4,20E-05	2,13E-05	2,69E-04	2,92E-03	kg C2H4 eq
Acidificação	2,70E-02	4,52E-03	2,59E-04	1,67E-03	1,29E-02	1,01E-03	5,25E-04	6,36E-03	5,42E-02	kg SO2 eq
Eutrofização	1,20E-02	1,68E-03	2,68E-05	4,82E-04	2,75E-03	1,73E-04	8,83E-05	1,63E-03	1,88E-02	kg PO4--- eq