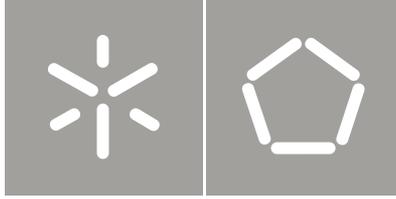




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carolina da Conceição Ferreira Pinto

Avaliação do Ciclo de Vida de uma malha com base em algodão convencional versus algodão reciclado e comparação das suas características de qualidade



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carolina da Conceição Ferreira Pinto

Avaliação do Ciclo de Vida de uma malha com
base em algodão convencional versus algodão
reciclado e comparação das suas
caraterísticas de qualidade

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria José Abreu

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença [abaixo](#) indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual
CC BY-NC-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Agradecimentos

À minha orientadora Professora Maria José Abreu, pela partilha de saber, pela orientação e motivação que me transmitiu logo desde o início deste projeto e por contribuir de forma competente com a execução deste trabalho.

À Engenheira Conceição, CEO da empresa Lurdes Sampaio onde estagiei, que desde o primeiro minuto se mostrou predisposta a ajudar-me em tudo o que fosse preciso e sempre esteve disponível para mim.

A todos os docentes do departamento de Engenharia Têxtil, que contribuíram para a realização deste projeto.

Ao meu namorado, pela compreensão dos “nãos” recebidos porque “tinha de trabalhar para a dissertação”, pela força dada quando eu achava que já não conseguia mais e pelo amor de todos os dias.

Ao meu irmão e minha cunhada, pela boa disposição sempre demonstrada e pela constante vontade de me ajudar em tudo que eu precisasse.

Aos meus amigos, pela amizade, auxílio e incentivo, que estiveram presentes durante esta etapa e que me retiraram peso nos momentos menos bons e me deram força para seguir em frente.

A todos os meus colegas de trabalho da Lurdes Sampaio, que mostraram compreensão e me apoiaram sempre durante este projeto.

Ao Engenheiro Joaquim Jorge, pela ajuda prestada quando era pedida e disponibilidade constante para a execução deste trabalho. À Universidade do Minho, por me permitir utilizar as instalações para ensaios laboratoriais mesmo até durante as horas noturnas.

Ao Dr. João Valério, representante da Fiavit e Recutex, por me permitir visitar as duas empresas as vezes necessárias para a recolha de dados e que se mostrou sempre disponível e dedicado neste projeto, e por me esclarecer sempre todas as dúvidas.

Agradeço à minha mãe e pai, sem os quais eu não seria o que sou hoje, nem teria alcançado esta meta tão desejada. O meu grande obrigado pelo constante apoio, força e incentivo para nunca ir abaixo, pelo amor incondicional, pela compreensão e paciência durante a execução deste trabalho.

A todos vocês e a todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho: obrigada!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, Outubro de 2022

Assinatura: Carolina da Conceição Ferreira Pinto

Resumo

No presente estudo intitulado “A avaliação do ciclo de vida de uma malha com base em algodão convencional *versus* algodão reciclado”, o objetivo foi avaliar os impactos ambientais associados à produção de uma malha têxtil 100% algodão convencional, comparativamente a outra malha utilizando fio 60% algodão reciclado e 40% algodão convencional, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com a ajuda das normas NP EN ISO 14040:2008 – Avaliação do ciclo de vida: Princípios e enquadramento e NP EN ISO 14044:2008 – Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e linhas de orientação.

Face ao aumento da industrialização e respetivo aumento de resíduos têxteis, o meio ambiente tem sofrido muitos impactos negativos. Neste sentido, a empresa Lurdes Sampaio desenvolveu o projeto RFive que se preocupa com os 5 R's: reciclar, reduzir, reutilizar, renovar e restaurar. Este projeto consiste em reciclar material têxtil pré-consumo, para obter uma nova fibra, sem a utilização de produtos químicos.

Posto isto, primeiramente foi realizada uma pesquisa de mercado sobre os resíduos têxteis no mundo e os impactos ambientais causados pelos mesmos. Para além disso, fez-se uma pesquisa relativa a projetos já desenvolvidos que tem como objetivo tópicos como sustentabilidade e reaproveitamento dos materiais fibrosos têxteis.

A ACV é um método que permite avaliar os aspetos e impactos ambientais associados a um sistema de produto, ao longo do seu ciclo de vida.

Assim, foram discriminadas teoricamente as quatro etapas necessárias para a avaliação do ciclo de vida tanto para malha convencional como para malha reciclada, bem como todos os métodos, dados, parâmetros, entre outros, necessários para a execução do mesmo. Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados de bases de dados inseridas no *software* GaBi, versão 10.6. Para a seleção das categorias e cálculo posterior das mesmas recorreu-se à metodologia ReCiPe 2016 *midpoint*, com abordagem hierarquista (H). Posto isto, em termos práticos foi explicado como todo esse processo foi realizado e executado.

Visto que não era apenas importante verificar os impactos ambientais ao utilizar a malha reciclada, mas também produzir uma malha reciclada com qualidade, foram realizados ensaios laboratoriais a ambas as malhas envolvidas neste estudo de forma a compreender de que modo se comportava cada uma e se obteríamos, ou não, melhores resultados para a malha composta por algodão reciclado.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); impactos ambientais; algodão reciclado; algodão convencional; sustentabilidade; resíduo têxtil pré-consumo.

Abstract

In the present study, whose proposed theme is " Life Cycle Assessment of a fabric knit based on conventional cotton versus recycled cotton", the objective was to evaluate the environmental impacts associated to the production of a fabric knit 100% conventional cotton, compared to another using 60% recycled cotton and 40% conventional cotton, through the Life Cycle Assessment (LCA), using the standards NP EN ISO 14040:2008 – Life Cycle Assessment: Principles and framework and NP EN ISO 14044:2008 – Life cycle assessment: Requirements and guidelines.

With the increase of industrialization and the increase in textile waste, the environment has suffered many negative impacts. In this sense, the company Lurdes Sampaio developed the RFive project that is concerned with the 5 R's: recycle, reduce, reuse, renew and restore. This project consists of recycling pre-consumer textile material, to obtain a new fiber, without the use of chemicals.

First of all, a market research was carried out on textile waste in the world and the environmental impacts caused by them. In addition, research was carried out on projects already developed that aim at topics such as sustainability and reuse of fibers.

LCA is a method that allows assessing the environmental aspects and impacts associated with a product system, throughout its life cycle.

Thus, the four stages necessary for the life cycle assessment for both fabrics were theoretically described, as well as all the methods, data, parameters, etc., necessary for its execution. To carry out this work, data from databases inserted in the GaBi software, version 10.6, were used. For the selection of categories and their subsequent calculation, the ReCiPe 2016 midpoint methodology was used, with a hierarchical approach (H). That said, in practical terms it was explained how this whole process was carried out and executed.

Since it was not only important to verify the environmental impacts when using the recycled fabric, but also to produce a recycled fabric with quality, laboratory tests were carried out on both meshes in order to understand how each one behaved and if we would obtain, or not, better results for the fabric composed of recycled cotton.

Keywords: Life Cycle Assessemet (LCA); environmental impacts; recycled cotton; conventional cotton; sustainability; pre-consumer; textile waste.

Índice

Agradecimentos	ii
Resumo	iv
Abstract	v
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	3
1.2 Estrutura da Dissertação	3
2 Lurdes Sampaio SA	5
2.1 Projeto RFive	6
3 Estado da Arte	8
3.1 Projetos desenvolvidos no âmbito desta temática	8
3.2 Desperdícios da Indústria Têxtil em Portugal	9
3.3 Desperdícios da Indústria Têxtil na Europa e no Mundo	11
3.4 Impactos ambientais causados pela Indústria Têxtil	12
3.5 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou <i>Lyfe Cycle Assessment</i> (LCA)	14
3.5.1 ACV de Produtos Têxteis	15
3.5.2 Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida	16
3.5.2.1 Definição do objetivo e âmbito	17
3.5.2.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida	18
3.5.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)	20
Considerações Gerais	20
Métodos de Avaliação de Impacto	23
<i>Software</i> GaBi (versão 10.6)	24
Categorias de impacto ambiental	25
3.5.2.4 Interpretação do Ciclo de Vida	27

4 Metodologia.....	30
4.1 Definição do objetivo e âmbito da Avaliação do Ciclo de Vida.....	30
4.1.1 Definição do objetivo e âmbito.....	30
4.1.2 Função e Unidade funcional.....	30
4.1.3 Sistema de produto e fronteiras do sistema.....	31
Produção de algodão reciclado.....	33
Produção de algodão convencional.....	34
Processo de Fiação.....	36
Tingimento do fio.....	38
Tricotagem.....	41
4.1.4 Fontes de dados e requisitos de qualidade.....	42
4.2 Inventário do Ciclo de Vida.....	43
4.2.3 Dados do inventário.....	43
4.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	48
4.3.1 Recursos e emissões.....	48
4.3.2 Categorias de impacto ambiental.....	53
4.4 Interpretação do Ciclo de Vida.....	60
5 Ensaio Laboratoriais.....	62
5.1 Caracterização Básica dos Fios.....	62
5.1.1 Massa linear e Massa por unidade de superfície.....	62
5.1.2 Determinação da Contextura (NP EN 1049-2:1995).....	62
5.1.3 Determinação da Espessura (NP EN 5084: 1999).....	63
5.1.4 Determinação do debuxo (NP 4114).....	64
5.1.5 Comprimento da laçada (NP 4105).....	64
5.1.6 Grau de Aperto.....	65
5.1.7 Torção do fio (voltas por metro) (NP 4104-1991).....	66
5.2 Caracterização Básica das Malhas.....	67

5.2.1 Determinação da Resistência à formação de borboto pelo método do Martindale (ASTM D 4970-89:Data).....	67
5.2.2 Determinação do Coeficiente de atrito cinético (Procedimento Interno)	69
5.2.3 Determinação da Resistência ao rebentamento (NP EN ISO 13938-1)	70
5.2.4 Determinação das Propriedades termofisiológicas – Alambeta (11092)	71
5.2.5 Permeabilidade ao ar (NP EN ISO 9237:1997)	73
5.2.6 Medição do <i>drapé</i> ou cair multidirecional (AFNOR G07 – 109)	75
5.3 Análise de resultados.....	77
6 Conclusão	80
6.1 Perspetivas Futuras	83
7 Referências Bibliográficas	84
8 Anexos	88
Anexo 1	88
Anexo 2	89
Anexo 3.....	90
Anexo 4.....	91
Anexo 5.....	92
Anexo 6.....	94
Anexo 7.....	97
Anexo 8.....	100

Índice de figuras

Figura 1 - Certificado GRS da Lurdes Sampaio SA, (Sampaio, 2020)	5
Figura 2 - Certificação OEKO-TEX® STANDARD 100 Lurdes Sampaio SA, (Sampaio, 2020)	6
Figura 3 - 5 R's do Projeto RFive, acervo do autor	7
Figura 4 - Peças da marca Re-roupa (Mazepa, 2013).....	8
Figura 5 - Reaproveitamentos da empresa Joaquina Brasil (Menendez, 2019).....	9
Figura 6 - Projeto Waste<Less da marca Levi's (Hypeness, 2014).....	9
Figura 7 - Estimativa dos resíduos têxteis em Portugal em toneladas, (2017) (Mendonça, Rodrigues, Moutinho, & Robalo Rosa, 2019).....	10
Figura 8 - Vestuário descartado em aterros ou incinerado, acervo do autor	12
Figura 9 - Modelo generalizado de ciclo de vida de produtos têxteis, (Muthu, 2014)	16
Figura 10 - Estrutura da ACV, segundo a NP EN ISO 14040:2008	17
Figura 11 - Exemplo de análise de Inventário, (Pinheiro, 2014)	19
Figura 12 - Procedimentos resumidos para a análise de inventário, (Mercial, 2018)	20
Figura 13 - Elementos da Avaliação do Ciclo de Vida (elementos obrigatórios e opcionais), (Bairras, 2016)	21
Figura 14 - Exemplo das etapas de Classificação e Caracterização (elementos obrigatórios), (Pinheiro, 2014)	22
Figura 15 - Relação entre os elementos da fase de Interpretação com as outras fases da ACV, segundo a NP EN ISO 14404:2008	29
Figura 16 – Fluxograma do Processo Produtivo da Malha Convencional, acervo do autor	32
Figura 17 - Fluxograma do Processo Produtivo da Malha Reciclada, acervo do autor	32
Figura 18 - Processo de Reciclagem da matéria-prima (Recutex), acervo do autor	33
Figura 19 - Esquema do processo de produção da fibra de algodão reciclado, acervo do autor	34
Figura 20 - Entradas e saídas da produção de algodão convencional, acervo do autor	36
Figura 21 - Entradas e saídas da processo de fiação para ambas as malhas, acervo do autor	37
Figura 22 - Cone de tinturaria, acervo do autor	38
Figura 23 - Cone de cartão, acervo do autor	39

Figura 24 - Processo de tingimento de fio, acervo do autor	40
Figura 25 - Entradas e saídas do processo de tingimento do fio, acervo do autor.....	40
Figura 26 - Exemplo de tear circular, (Brandit, 2022).....	41
Figura 27 – Representação Gráfica do Jersey, (Araújo, 1988)	42
Figura 28 - Entradas e saídas no processo de tricotagem, acervo do autor	42
Figura 29 - Distribuição do consumo de energia primária para cada um dos produtos, distribuído por: matéria-prima, transporte, energia para o processo e produtos químicos, acervo do autor.....	50
Figura 30 - Distribuição do consumo de energia primária renovável e não renovável, para cada um dos produtos, acervo do autor	51
Figura 31 - Distribuição da utilização de água para cada um dos produtos, distribuído por: matéria-prima, transporte, energia para o processo e produtos químicos, acervo do autor	52
Figura 32 - Distribuição da consumo de água para cada um dos produtos, distribuído por: matéria-prima, transporte, energia para o processo e produtos químicos, acervo do autor	53
Figura 33 - Distribuição da categoria Alterações Climáticas, incluindo o carbono biogénico, para cada um dos produtos, acervo do autor	55
Figura 34 - Distribuição dos valores da categoria Alterações Climáticas, excluindo o carbono biogénico, para cada um dos produtos, acervo do autor.....	55
Figura 35 - Distribuição da categoria Acidificação para cada um dos processos, acervo do autor	56
Figura 36 - Distribuição da eutrofização para cada um dos produtos, acervo do autor	57
Figura 37 - Distribuição depleção fóssil para cada um dos produtos, acervo do autor	58
Figura 38 - Toxicidade Humana para cada um dos produtos, acervo do autor	59
Figura 39 - Ecotoxicidade aquática para cada um dos produtos, acervo do autor.....	59
Figura 40 - Ecotoxicidade terrestre para cada um dos produtos, acervo do autor	59
Figura 41 - Determinação da contextura – lupa (malha convencional), acervo do autor	63
Figura 42 - Debuxo das malhas em estudo, acervo do autor	64
Figura 43 - Torciómetro – aparelho utilizado, Universidade do Minho	66
Figura 44 - Resultados obtidos do ensaio da resistência à formação de borboto após 5000 ciclos para a malha 60%CO reciclado 40%CO convencional, acervo do autor	68

Figura 45 - Resultados obtidos do ensaio da resistência à formação de borboto após 5000 ciclos para a malha 100%CO convencional, acervo do autor	69
Figura 46 - Frictorq-01 – equipamento de medição, Universidade do Minho.....	69
Figura 47 - Eclatómetro – Burst Tester, Universidade do Minho	71
Figura 48 - Alambeta - Equipamento utilizado para determinar as propriedades termofisiológicas, Universidade do Minho.....	72
Figura 49 - Textest FX 3300, Universidade do Minho	74
Figura 50 - Valores médios da permeabilidade ao ar para ambas as amostras, acervo do autor	74
Figura 51 - Drapeómetro - Aparelho de medição do drapé, Universidade do Minho.....	75
Figura 52 - Distribuição percentual do peso de cada indicador de emissões e consumo de recursos – malha convencional, acervo do autor	88
Figura 53 - Distribuição percentual do peso de cada indicador de consumo de recursos – malha reciclada, acervo do autor.....	89
Figura 54 - Distribuição percentual do peso de cada categoria de impacto ambiental – malha Convencional, acervo do autor.....	90
Figura 55 - Distribuição percentual do peso de cada categoria de impacto ambiental – malha Reciclada, acervo do autor.....	91
Figura 56 – Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (primeiro teste), acervo do autor	94
Figura 57 -Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (segundo teste), acervo do autor	94
Figura 58 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (terceiro teste), acervo do autor	95
Figura 59 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quarto teste), acervo do autor	95
Figura 60 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quinto teste), acervo do autor	96
Figura 61 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (primeiro teste), acervo do autor	97

Figura 62 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (segundo teste), acervo do autor	97
Figura 63 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (terceiro teste), acervo do autor	98
Figura 64 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quarto teste), acervo do autor	98
Figura 65 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quinto teste), acervo do autor	99

Índice de tabelas

Tabela 1 - Elementos da fase AICV, adaptado da fonte (Bairras, 2016)	23
Tabela 2 - Categorias de impacto midpoint, (Goedkoop, Huijbregts , Schryver, & Zelm, 2013)	24
Tabela 3 - Categorias de Impacto utilizadas	25
Tabela 4 - Características das malhas/produtos em estudo: Malha Convencional e Malha Reciclada.....	30
Tabela 5 - Categorias dos dados utilizados para a realização da ACV.....	43
Tabela 6 - Dados recolhidos na empresa para o processo de produção de algodão reciclado.....	44
Tabela 7 - Dados recolhidos na empresa para o processo de fiação	45
Tabela 8 - Dados obtidos a partir da base de dados para o processo de tricotagem.....	45
Tabela 9 - Dados obtidos a partir da base de dados ecoinvent, “bleaching and dyeing yarn” para o processo de tingimento do fio	46
Tabela 10 - Dados obtidos a partir da base de dados ecoinvent. para o processo o consumo de produtos químicos.....	47
Tabela 11 - Consumos e emissões específicas para os dois produtos em estudo – malha convencional e malha reciclada	49
Tabela 12 - Resultados das diferentes categorias de impacto ambiental para os dois produtos em análise, seguindo a metodologia ReCiPe 2016 midpoint (H)	54
Tabela 13 - Dados da massa linear e massa por unidade de superfície das malhas em estudo	62
Tabela 14 - Resultados obtidos para a contextura da malha convencional, acervo do autor.....	63
Tabela 15 - Resultados obtidos na espessura, acervo do autor	64
Tabela 16 - Comprimento de laçada (lu) das malhas em estudo	65
Tabela 17 - Resultados do grau de aperto para as malhas em estudo	65
Tabela 18 - Média do valor de voltas por metro	66
Tabela 19 - Continuação da Tabela 18	67
Tabela 20 - Torção do fio de ambas as amostras.....	67
Tabela 21 - Resultados obtidos do ensaio da resistência à formação de borbotos para as malhas em estudo	68
Tabela 22 - Resultados obtidos no coeficiente de atrito cinético para as malhas em estudo	70

Tabela 23 - Resultados obtidos na resistência ao rebentamento.....	71
Tabela 24 - Resultados obtidos para o ensaio da determinação das propriedades termofisiológicas	73
Tabela 25 - Resultados obtidos na permeabilidade ao ar para as malhas em análise.....	74
Tabela 26 - Resultados obtidos para o diâmetro médio de cada uma das malhas em análise	75
Tabela 27 - Continuação da Tabela 25	76
Tabela 28 - Valores de coeficiente de drapé para ambas as malhas	76
Tabela 29 - Todos os ensaios realizados nas duas malhas.....	77
Tabela 30 - Continuação da tabela 29	78
Tabela 31 - Comparação dos ensaios de resistência mecânica para ambas as malhas.....	79
Tabela 32 - Comparação dos ensaios físicos para ambas as malhas.....	79
Tabela 33 - Ensaio do comprimento da laçada nos 10 fios da malha convencional.....	92
Tabela 34 - Medição do comprimento da laçada nos 10 fios da malha reciclada	93
Tabela 35 - Resultados obtidos para os 5 ensaios da determinação das propriedades térmicas - malha convencional.....	100
Tabela 36 - Resultados obtidos para os 5 ensaios da determinação das propriedades térmicas - malha reciclada.....	100

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

O setor têxtil é um dos setores que mais resíduos produz e mais prejudica o meio ambiente, devido à variedade e quantidade de processos que possui, acabando por provocar diversos impactos negativos.

Os impactos produzidos podem ser de duas formas: químicos e sociais. Químicos uma vez que se relacionam ao uso e contaminação da água, emissão de gases de efeito de estufa, produção de resíduos sólidos têxteis, utilização de energia e a ocupação e poluição dos solos. Já os impactos sociais direcionam-se para a perda da biodiversidade, às más condições de trabalho (Mesacasa & Alves da Cunha, 2019).

Posto isto, um dos problemas ambientais enfrentados pelo setor têxtil é o descarte de resíduos têxteis. Uma vez que os resíduos possuem características como propriedades tóxicas, não podem ser enviados para o lixo comum. No entanto, muitas vezes é o que sucede comprometendo a qualidade ambiental e de vida da sociedade visto que esta atitude implica problemas relacionados com a poluição do ar, solo e água (Mesacasa & Alves da Cunha, 2019).

Neste sentido, as sobras produzidas pela indústria têxtil são particularmente preocupantes, uma vez que quando incorretamente gerenciados, tornam-se uma grave ameaça para o meio ambiente e, conseqüentemente, para as gerações futuras (Refosco, 2012).

Face à crescente preocupação pelo ambiente e tendo em consideração que a indústria têxtil tem um lugar de destaque na poluição do planeta, as empresas estão cada vez mais focadas em encontrar estratégias para combater a geração de resíduos. A reciclagem de resíduos têxteis decorrentes da fabricação de produtos industrializados é uma forma inteligente da indústria gerir os efeitos colaterais causados, gerando-se coprodutos que se transformam em novas peças. Desta forma, o coproduto desenvolvido quando apresenta custo competitivo com o produto que idealiza substituir, torna-se viável. A questão económica não é tão importante quando existe risco ambiental e quando existem vantagens como, a diminuição do consumo de recursos ambientais, menor consumo de energia e água, redução na dependência dos combustíveis fósseis, entre outros (Ramos, 2009).

Tendo em consideração este pressuposto, são de mencionar alguns fatores relacionados com as questões ambientais, tais como:

- Proteção dos recursos naturais e eficiência energética: para tal, os produtos finais não devem danificar a disponibilidade de recursos naturais, nem levar ao seu possível esgotamento;

- Redução de emissões atmosféricas poluentes: de forma a não sobrecarregar o planeta, a quantidade de substâncias poluidoras libertadas na atmosfera não deve ultrapassar a margem que a atmosfera consegue absorver;
- Políticas (social e ambiental) da empresa: as empresas devem ter em consideração as condições de vida e de trabalho dos colaboradores, sendo que os procedimentos adotados pelas empresas devem ser ecologicamente corretos;
- Reciclagem e ciclo de vida: o produto desenvolvido deve possuir materiais que permitam a reutilização;
- Multiuso: os produtos desenvolvidos podem e devem ser utilizados por várias pessoas e devem ser versáteis no sentido de servirem para mais do que uma função. Dependendo do produto, esta premissa pode ou não ser realizada.

(Mesacasa & Alves da Cunha, 2019)

Neste sentido, a empresa Lurdes Sampaio desenvolveu o projeto RFive. Tal como o nome indica, é um projeto que se preocupa com os 5 R's: reciclar, reduzir, reutilizar, renovar e restaurar. Consiste então em reciclar material têxtil, que é residuo pré-consumo, para obter uma nova fibra e, por fim, uma nova malha, sem a utilização de produtos químicos.

1.2 Objetivos

Visto que o projeto RFive é um projeto recente, não possuindo ainda dados concretos da previsão e/ou indicação dos impactos ambientais inerentes a estas malhas recicladas, o objetivo deste trabalho cingiu-se pelo estudo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que tem como objetivo a comparação de duas malhas, uma constituída por 100% algodão convencional e outra composta por 60%CO reciclado pré-consumo/40%CO convencional, comparando os impactos ambientais na produção de cada uma e verificar se a utilização de algodão reciclado reduz os impactos ambientais.

Posto isto, seguiu-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para o efeito. Segundo as normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2008, a ACV é um método através do qual é possível “avaliar os aspetos e impactos ambientais associados a um processo de um produto, ao longo do seu ciclo de vida” (Appel, Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de uma Malha Têxtil de Algodão, 2019, p. 8). Visto que este se trata de um estudo comparativo, os produtos em análise são uma malha com fio 100%CO convencional (chamada malha convencional) e outra malha com fio 60%CO reciclado pré-consumo e 40%CO convencional (chamada malha reciclada ao longo do trabalho).

Para além de serem avaliados os impactos ambientais, é também importante perceber o desempenho da malha reciclada comparativamente à malha convencional. Para tal foram realizados testes físicos porque,

para além de ser importante o uso/produção de uma malha *eco-friendly*, é igualmente importante produzir uma malha resistente, confortável, com bom toque, entre outros.

1.3 Metodologia

Diante o exposto, através da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida será possível verificar as poupanças ao meio ambiente ao utilizar o algodão reciclado, verificar os pontos com os impactos ambientais mais significativos na comparação dos dois processos produtivos e, também, auxiliar no *marketing* do produto. Para o tratamento de dados deste processo, contou-se com a colaboração do Citeve que, através do *software* GaBi, calculou os impactos ambientais dos dois processos, ajudando também na recolha de alguns dados contidos nas bases de dados do sistema.

A avaliação dos impactos ambientais deste estudo foi concluída utilizando o método ReCiPe 2016 (versão 10.6), com indicadores de categoria de impacto em níveis médios (*midpoint*), abordagem hierarquistica, método esse desenvolvido pelo Instituto Nacional para a Saúde Pública e Ambiente dos Países Baixos, a Universidade Radboud Nijmegen, a Universidade de Leiden e a Pré Sustainability. Este método permite a conversão de emissões de substâncias perigosas e extrações de recursos naturais, em indicadores de categoria de impacto.

No subcapítulo 3.5 está apresentado com mais detalhe em que consiste a ACV e como será aplicada na comparação dos diferentes processos.

O algodão foi a fibra selecionada para o desenvolvimento deste estudo, uma vez que é uma das fibras naturais mais utilizadas no têxtil, sendo responsável por cerca de 30% de todo o consumo de fibra têxtil (Remy, Speelman, & Swartz, 2016).

Tal como anteriormente mencionado, foram também realizados testes físicos a ambas as malhas, tais como ensaios de caracterização básica dos fios e ensaios de caracterização básica de ambas as malhas.

1.2 Estrutura da Dissertação

A dissertação estará dividida em seis capítulos, sendo que o primeiro designa-se à introdução, abordando o enquadramento e motivação, os objetivos a cumprir, a metodologia a seguir e a estrutura desta dissertação.

No segundo capítulo é feita uma breve explicação da empresa Lurdes Sampaio, empresa no qual foi possível desenvolver este trabalho, assim como uma abordagem do projeto RFive.

Segue-se o terceiro capítulo que se efetua um enquadramento teórico de todo o estado da arte, tais como, os projetos desenvolvidos no âmbito desta temática, os desperdícios têxteis da indústria têxtil em Portugal

e no mundo, assim como os impactos causados por este setor e, por fim, é explicada todas as etapas da avaliação do ciclo de vida.

Entrando numa componente mais pratica, tem-se o quarto capítulo que se refere à metodologia aplicada. É explanado todos os passos e processos efetuados tendo em consideração a avaliação do ciclo de vida. Ainda na componente prática segue-se para o quinto capítulo onde foram mencionados todos os ensaios laboratoriais realizados a ambos os fios e malhas em análise, tendo em consideração os fatores que se pretendem comparar.

No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões retiradas desta dissertação, bem como as perspectivas futuras.

2 Lurdes Sampaio SA

De forma a garantir uma resposta eficiente e rápida às necessidades do mercado, a empresa onde foi desenvolvida esta dissertação possui uma relação estratégica e de benefício mútuo para com os seus clientes e fornecedores. A Lurdes Sampaio SA é então uma empresa têxtil portuguesa, constituída em 1990, cuja atividade principal consiste na comercialização de uma vasta gama de malhas acabadas e também no agenciamento de têxteis. De uma forma sucinta, cada cliente faz referência à malha que procura e a empresa trata de produzi-la, ou seja, através dos subcontratados de fição, malheiros e tinturarias, desenvolve a malha pretendida pelo cliente. A sua filosofia permite-lhe estar na vanguarda das novas tendências ao nível de materiais e de acabamentos, tendo sempre em consideração a sustentabilidade para contribuir para um ambiente saudável.

Para além disso, a empresa Lurdes Sampaio desenvolve duas coleções por ano. Estas são a combinação perfeita entre as últimas e mais recentes tendências do mundo da moda e uma pesquisa baseada a partir de cada tipo de estímulo externo, para serem apresentadas em várias feiras, tanto nacionais como internacionais, como por exemplo a *Première Vision* e a *Modtissimo* (Sampaio, 2020).

A empresa Lurdes Sampaio possui duas certificações nas suas malhas: o *Global Recycle Standard* (GRS) e a OEKO-TEX®. O primeiro é uma norma internacional voluntária que define requisitos para a certificação de terceiros de material reciclado, cadeia de custódia, práticas sociais e ambientais e restrições químicas (figura 1).



Figura 1 - Certificado GRS da Lurdes Sampaio SA, (Sampaio, 2020)

O principal objetivo do GRS é aumentar o uso de materiais reciclados nos produtos finais, reduzindo/eliminando os danos causados ao meio ambiente. Porém tem outros objetivos, tais como:

- O rastreio de materiais a serem reciclados;
- Fornecer aos clientes (marcas e consumidores) uma ferramenta para tomar decisões informadas;
- Reduzir o impacto negativo da produção de materiais fibrosos na sociedade e ao meio ambiente;
- Assegurar que os materiais presentes no produto final são realmente reciclados e processados de forma mais sustentável;
- Impulsionar a inovação ao abordar questões de qualidade no uso de materiais reciclados.

(Global Recycled Standard - Implementation Manual 4.2, 2017)

Relativamente à certificação OEKO-TEX®, uma vez que as malhas da empresa apresentam o rótulo STANDARD 100, significa que todos os componentes, ou seja, os fios, botões ou eventuais acessórios,

foram testados quanto a substâncias nocivas e que, portanto, garante que o artigo é inofensivo para a saúde humana (figura 2).

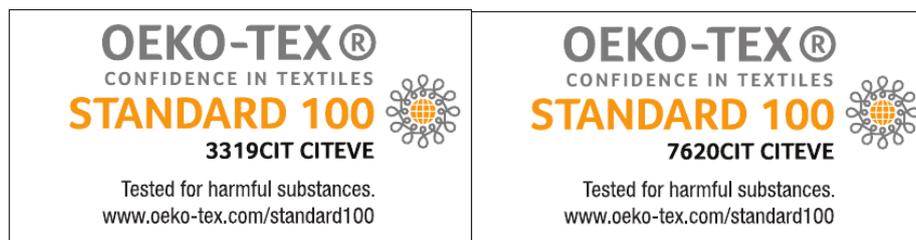


Figura 2 - Certificação OEKO-TEX® STANDARD 100 Lurdes Sampaio SA, (Sampaio, 2020)

O teste é realizado por institutos parceiros independentes OEKO-TEX®, tendo em consideração um extenso catálogo de critérios OEKO-TEX®. Nesse teste, são consideradas diversas substâncias, regulamentadas ou não, que podem ser prejudiciais à saúde humana. Em muitos casos, os valores limite para o STANDARD 100 vão para além dos requisitos nacionais e internacionais. O catálogo de critérios é atualizado pelo menos uma vez por ano e expandido com novos conhecimentos, científicos ou requisitos legais (OEKO-TEX®, 2022).

A certificação 3319CIT é de classe de produto I, ou seja, todos os artigos, matérias-primas e acessórios utilizados na produção de artigos podem ser utilizados por bebés e crianças com idades não superiores a 36 meses. Já a certificação 7620CIT é de classe de produto II, o que significa que todas as malhas com esta certificação podem ser utilizadas em contacto com a pele (OEKO-TEX®, 2022).

A empresa Lurdes Sampaio possui ainda uma terceira certificação, a 10152CIT (classe de produto I) que é para artigos que possuam na sua composição algodão orgânico.

O Citeve foi o centro tecnológico que certificou as malhas da empresa Lurdes Sampaio. O Citeve é uma organização prestadora de serviços para as empresas, com um papel ativo na promoção do conhecimento e informação para o setor, posicionando-se estrategicamente entre as universidades e as empresas (Citeve, 1989).

2.1 Projeto RFive

Sendo a Lurdes Sampaio uma empresa de malha com vasta experiência no mercado, aliou a qualidade intrínseca nas suas malhas, a uma filosofia de sustentabilidade e preocupação ambiental.

Neste sentido, a empresa Lurdes Sampaio desenvolveu o projeto RFive, sendo este já uma marca registada. Tal como o nome indica, é um projeto que se preocupa com os 5 R's: reciclar, reduzir, reutilizar, renovar e restaurar, identificados na figura 3. Desta forma este é um projeto que tem como base o conceito da economia circular.



Figura 3 - 5 R's do Projeto RFive, acervo do autor

Desta forma, este projeto consiste em reciclar material têxtil, que seria resíduo, para obter uma nova fibra, sem a utilização de produtos químicos.

Assim, é possível oferecer uma nova malha a partir de material têxtil reciclado pré e pós-consumo com altos padrões de qualidade, desempenho e design, transformando o velho em novo.

Como parceiros da empresa, colaboram no projeto RFive, as empresas Recutex e Fiavit que agregam valor com a sua experiência. A Recutex é a maior empresa de reciclagem em Portugal e uma das maiores da Europa no seu sector, focando-se no processo inicial de recolha do trapo e produção da fibra. A Fiavit é a maior fiação de material reciclado em Portugal e uma das maiores da Europa no seu sector, concentrando-se no processo de fiação, utilizando fibra já reciclada (Sampaio, 2020).

Este é um projeto ao serviço das marcas para dar resposta às questões ambientais, tendo em consideração os princípios da economia circular com enfoque na importância da reciclagem no universo têxtil.

O projeto RFive é um projeto que se foca na recuperação têxtil e que utiliza diversas matérias-primas. O algodão foi a fibra selecionada para o desenvolvimento deste estudo, uma vez que é uma das fibras naturais mais utilizadas no têxtil, sendo responsável por cerca de 30% de todo o consumo de fibra têxtil (Remy, Speelman, & Swartz, 2016).

3 Estado da Arte

3.1 Projetos desenvolvidos no âmbito desta temática

Com o desenvolvimento constante da indústria têxtil houve a necessidade de se apresentar as urgências que se verificam a nível ambiental e ético, bem como desenvolver melhores práticas, tais como, por exemplo, reduzir a utilização de produtos químicos; utilizar materiais e produtos recicláveis, renováveis e/ou biodegradáveis; recuperar e reutilizar produtos de coleções anteriores com o intuito de se reduzir o desperdícios e evitar a sobreprodução (Moda Lisboa, 2020).

Estes não foram conceitos que sensibilizaram e consciencializaram apenas a empresa Lurdes Sampaio, mas também outras empresas e profissionais.

Como tal, o projeto “Re-roupa”, fundado em 2013 em São Paulo, no Brasil, foca-se na criação de peças através de sobras que eram consideradas lixo (pré-consumo) e tem em mente a consciencialização da sociedade para a importância da sustentabilidade (Menendez, 2019). Na figura 4, estão apresentadas algumas peças deste projeto.



Figura 4 - Peças da marca Re-roupa (Mazepa, 2013)

A marca Joaquina Brasil, igualmente com sede em São Paulo, trabalha desde 2016 com o objetivo de criar moda, mas sem prejudicar o meio ambiente. Para confeccionar as peças tendo em mente essa ideologia, a marca utiliza tecidos sustentáveis e doados (Menendez, 2019). Através da figura 5, pode-se verificar as poupanças ambientais realizadas com este projeto.



Figura 5 - Reaproveitamentos da empresa Joaquina Brasil (Menendez, 2019)

Num projeto social, a marca Levi's lançou a linha *Water™*, que utiliza uma técnica de produção que reduz em 96% o uso de água no acabamento das calças de ganga. Paralelamente a marca apostou numa linha chamada *Waste<Less*, apresentada na figura 6, em que cada peça é produzida utilizando, no mínimo, 20% de conteúdo reciclado e também uma média de oito garrafas de plástico recicladas. Estes são exemplos de outros projetos que, de uma forma simples e eficaz, reduzem o impacto de resíduos no planeta (Hypheness, 2014).



Figura 6 - Projeto Waste<Less da marca Levi's (Hypheness, 2014)

A marca Náz é uma marca portuguesa que produz peças de vestuário a partir de fibras recicladas pré-consumo, utilizando excedentes de outras empresas. Desenvolve vestidos, camisolas, calças e casacos tendo em consideração a pegada ecológica (Gonçalves & Real, 2021).

As empresas Calvelex, Inovafil, Tintex, Scoop, Valerius e BCSD (*Business Council for Sustainable Development*), entre muitas outras, são empresas e entidades que se preocupam com a implementação de atividades e inovações com uma pegada ambiental melhor (Moda Lisboa, 2020).

3.2 Desperdícios da Indústria Têxtil em Portugal

Cada vez mais tem-se observado um aumento significativo no consumo têxtil mundial o que, consequentemente, impulsiona a industrialização. Todavia, as empresas ao fabricarem novos produtos

devido à necessidade de acompanharem esse crescimento por parte dos consumidores, acabam por utilizar recursos naturais provocando impactos ambientais negativos que, muitas vezes, podem ser irreversíveis.

Por sua vez, geram-se mais resíduos têxteis que as empresas descartam, por exemplo, em aterros (Toniollo, Piva Zancan, & Wüst, 2015). Diante do sucedido, atualmente as principais preocupações estão voltadas para as consequências que esses resíduos podem ter sobre a saúde humana e para o meio ambiente (solo, água, ar e paisagens). Estes resíduos produzidos pela indústria têxtil são particularmente preocupantes, uma vez que quando incorretamente gerenciados, tornam-se uma grave ameaça para o meio ambiente e, conseqüentemente, para as gerações futuras (Refosco, 2012).

Em 2017, de acordo com os dados da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), recolheram-se em resíduos urbanos mais de 200 mil toneladas de têxteis, valor esse superior ao registado no ano anterior, figura 7. Esta quantidade representa aproximadamente 4% do total de resíduos produzidos em Portugal. Tendo em consideração o período entre 2011 e 2017, foram detetados 1,2 milhões de toneladas de têxteis no lixo urbano (Capucho, 2019).

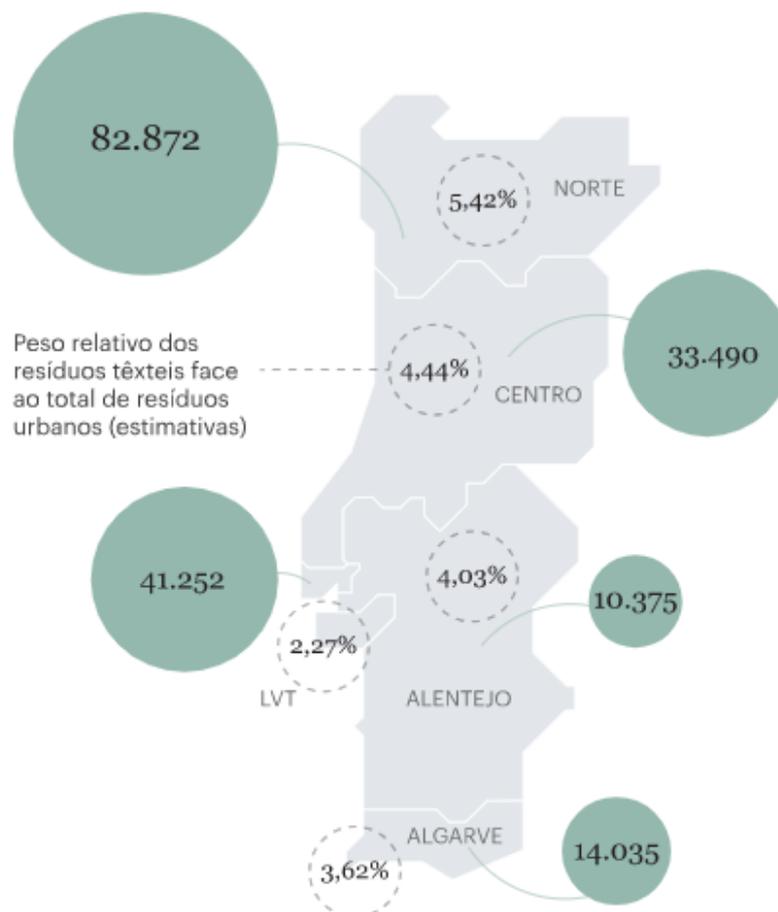


Figura 7 - Estimativa dos resíduos têxteis em Portugal em toneladas, (2017) (Mendonça, Rodrigues, Moutinho, & Robalo Rosa, 2019)

Atualmente cerca de 1,4% dos resíduos têxteis gerados são recolhidos, uma vez que cerca de 200 000 toneladas de vestuário são descartadas anualmente. Segundo a responsável pela recolha têxtil em Portugal, 50% dos resíduos têxteis descartados podem ser reaproveitados e mais de 35% podem ser reciclados. Assim, as 2 800 toneladas de têxteis reaproveitadas equivalem a quase 11 milhões de peças de vestuário renovadas através da reutilização e reciclagem. Com isto, evita-se a emissão de 16 470 toneladas de CO_2 para a atmosfera que equivalem a emissão anual de 6 186 carros com distâncias de 15 000 km cada (Textil, 2022).

3.3 Desperdícios da Indústria Têxtil na Europa e no Mundo

Os desperdícios não são um problema exclusivo de Portugal. Segundo o *The Guardian*, no Reino Unido, o consumo de vestuário aumentou de 200 mil toneladas, em anos anteriores, para 1,13 milhões de toneladas em 2016. Nesse mesmo ano, foram enviadas cerca de 300 mil toneladas de vestuário para aterros (Smithers, 2017).

Em 2017, estimou-se que os cidadãos europeus compraram cerca de 6,4 milhões de toneladas de vestuário novo, o que, fazendo uma estimativa, equivale a 12,46Kg por pessoa. Ainda na Europa, de acordo com a Agência Europeia do Ambiente, entre 1996 e 2012, a quantidade de vestuário que as pessoas compraram aumentou 40% (Mendonça et al., 2019), o que implicitamente aumenta a quantidade de vestuário a ser produzido e resíduos têxteis a serem descartados. Outro estudo mais recente refere ainda que, cerca de 4700 quilotoneladas de resíduos têxteis são geradas anualmente na Europa e menos de 1% desses resíduos são reaproveitados (Duijn, 2020).

O aumento da aquisição de vestuário na Europa mencionada anteriormente, causa impactos noutras regiões do mundo, tais como: 85% do uso primário de matérias-primas, 93% da utilização do solo e 76% das emissões de gases com efeitos de estufa, emissões essas provenientes de produção têxtil ocorrente fora da União Europeia (Mendonça et al., 2019).

Quando as peças de vestuário são descartadas, mais de metade não é reciclada e acaba por ser misturada com os resíduos domésticos que, posteriormente, são incineradas ou colocados em aterros, tal como representa a figura 8, contribuindo desta forma para a poluição tanto do solo, como do ar do planeta. O vestuário produzido a partir de tecidos não biodegradáveis pode ficar nesses aterros até 200 anos. Somente 20% do vestuário é recolhido para reciclagem ou reutilização e, de todos os materiais usados na sua produção, menos de 1% são reciclados para refazer novas peças (Mendonça et al., 2019). Ainda segundo esta pesquisa, a cada segundo, no mundo, um camião de lixo de vestuário é queimado ou enviado para aterros.

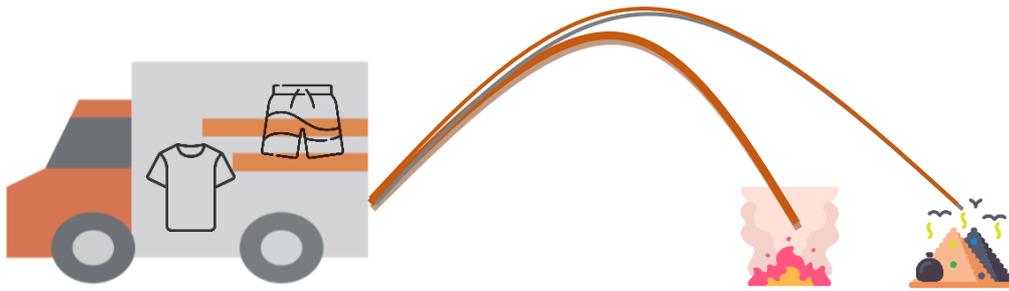


Figura 8 - Vestuário descartado em aterros ou incinerado, acervo do autor

Estima-se que em 2030, a quantidade total de resíduos de vestuário possa atingir os 148 milhões de toneladas. Este valor equivale ao desperdício anual de 17,5Kg *per capita* em todo o mundo (Mendonça et al., 2019).

3.4 Impactos ambientais causados pela Indústria Têxtil

Os impactos ambientais causados pelo consumo de vestuário são difíceis de calcular por causa da sua diversidade e do facto de acontecerem por todo o mundo.

No entanto, em 2017, um relatório realizado pela *Global Fashion Agenda* (GFA) referiu que a pegada ambiental da Europa, devido ao consumo de têxteis, é de 4 a 6%.

Segundo D'Almeida e Vilhena (2000), resíduos podem ser classificados como os restos ou as sobras originárias de um processo produtivo, sendo considerados como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Podem apresentar-se sob quatro formas: estado sólido, semissólido, semilíquido ou líquido.

Em 2015, a GFA e a *Boston Consulting Group* estimaram que a indústria têxtil e de vestuário foram responsáveis pela emissão de 1715 milhões de toneladas de CO_2 , o consumo de 79 biliões de metros cúbicos de água e 92 milhões de toneladas de resíduos (Šajin, 2019).

Para além disso, o têxtil é dos setores que mais consome e liberta efluentes líquidos. Para a produção de um quilo de tecido são necessários cerca de 150 litros de água e, dessa produção, libertam-se 88% de efluentes líquidos e 12% são expulsos por via gasosa (Toniollo, Zancan, & Wust, 2015).

Este setor consome em excesso os recursos não renováveis do planeta, através por exemplo, da extração de petróleo para produção de fibras sintéticas, do uso de fertilizantes e pesticidas no cultivo de algodão e de químicos para o tratamento de fibras têxteis, e, além do mais, consome milhões de metros cúbicos por ano de água em diversas fases do processo produtivo.

Estima-se que até 2030 haverá uma diminuição no lucro deste setor, uma vez que os impactos negativos provocam uma perda de reputação para os consumidores, e por isso cada vez mais as marcas e empresas vão sendo desafiadas a combater a economia linear (Agenda, 2017).

A economia circular é o oposto da economia linear. Para o crescimento económico da economia linear são necessários recursos naturais finitos, o que provoca um risco de esgotamento de matérias-primas. A partir

desses recursos são feitos produtos que, depois de utilizados, são descartados como resíduos. Esta forma de economia maximiza o valor dos produtos pela quantidade de extração e produção. Posto isto, torna-se inviável uma vez que, a longo prazo, os impactos ambientais causados serão insustentáveis (Euronews, 2017).

Já a economia circular vai para além da reciclagem dos produtos. A ideia é que não haja um fim de vida do produto ou dos seus componentes, ou seja, o conceito “fim de vida” é trocado por conceitos como restauração e menor geração de impacto ao meio ambiente. Neste processo estão incluídos fatores como uso de energia renovável, substituição de produtos químicos nocivos e eliminação da produção de resíduos pela melhoria do desempenho das indústrias têxteis. Assim, para a economia circular os resíduos não existem uma vez que os produtos são projetados e otimizados para um ciclo de reutilização (Legnaioli, 2010).

Posto isto, a reciclagem de resíduos têxteis decorrentes da fabricação de produtos industrializados é uma forma inteligente da indústria gerir os efeitos colaterais causados, gerando-se coprodutos que se transformam em novas peças. Desta forma, o coproduto desenvolvido quando apresenta custo competitivo com o produto que idealiza substituir, torna-se viável. A questão económica torna-se não tão importante quando existe risco ambiental e quando existem vantagens como, a diminuição do consumo de recursos ambientais, menor consumo de energia e água, entre outros (Ramos, 2009).

3.5 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou *Lyfe Cycle Assessment (LCA)*

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método através do qual é possível “avaliar os aspetos e impactos ambientais associados a um processo de um produto, ao longo do seu ciclo de vida” (Appel, Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de uma Malha Têxtil de Algodão, 2019, p. 8). Outra definição de ACV é a “compilação e avaliação de entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (Appel, Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de uma Malha Têxtil de Algodão, 2019).

Os estudos de ACV tiveram início na década de 1960, devido à crise do petróleo, o que levou a sociedade a questionar-se sobre o limite da extração dos recursos naturais, particularmente de combustíveis fósseis e recursos minerais. Os primeiros trabalhos desenvolvidos tinham como objetivo calcular o consumo de energia e por isso eram conhecidos como “análise de energia”. Nestes estudos era elaborado um fluxograma do processo que apresentava o balanço mássico e energético. Assim, os dados relativos ao consumo de matérias-primas, de combustíveis e resíduos sólidos eram automaticamente computados (Coltro, 2007).

Uma vez que ainda não existem muito estudos comparativos a uma malha reciclada e outra malha composição semelhante (mas sem ser reciclada), não há também ainda dados dos benefícios para o ambiente ao utilizar uma malha reciclada. Neste sentido, considerou-se então avaliar o ciclo de vida de uma malha composta por 60% algodão reciclado pré-consumo e 40% algodão convencional e uma malha 100% algodão convencional, calculando as poupanças ambientais do processo reciclado, comparando-o com o processo do algodão convencional.

De acordo com a *United States Environmental Protection Agency* – (Epa, 2006) e a norma da Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e enquadramento, a avaliação do ciclo de vida avalia todas as fases do ciclo de vida, desde a obtenção da matéria-prima, produção, fase de uso até ao seu fim de vida, a partir do pressuposto que as operações estão relacionadas, ou seja, uma operação leva à seguinte. Através deste procedimento é possível estimar os impactos ambientais resultantes de todas as etapas do ciclo de vida, considerando impactos não incluídos em pesquisas mais tradicionais, como por exemplo a extração e transporte. Com a inclusão desses impactos, a ACV torna-se mais precisa no que concerne às trocas ambientais realizadas no sistema do produto.

Para além disso, a ACV pode também ser utilizada para avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços (Coltro, 2007).

A ACV vai ser realizada seguindo as normas NP EN ISO 14040:2008 e norma da Avaliação do Ciclo de Vida: requisitos e linhas de orientação. A primeira direciona-se para os princípios e enquadramento, e a segunda para os requisitos e linhas de orientação, sendo que ambas trabalham em conjunto. A norma NP

EN ISO 14040:2008 especifica a estrutura geral, princípios e requisitos para o estudo da ACV nos processos, não incluindo as técnicas em detalhe. Já a NP EN ISO 14044:2008 pormenoriza os requisitos para a realização da ACV (Bairras, 2016).

De acordo com as normas, através da utilização do ciclo de vida é possível:

- Reconhecer oportunidades de melhoria de desempenho ambiental dos produtos em análise, nas suas diversas fases do ciclo de vida;
- Ter em consideração o planeamento estratégico de uma empresa ou organização, definindo prioridades;
- Escolher indicadores de desempenho ambiental mais relevantes;
- Fazer marketing ao produto, independentemente do produto em análise.

(Mercial, 2018)

Numa avaliação do ciclo de vida de um produto são determinados todos os recursos e emissões libertadas para o meio ambiente e, com base nesses dados, são considerados os potenciais impactos ambientais. Porém, nestes estudos não é possível determinar qual o produto ou processo que é o mais caro ou funciona melhor (Ferreira J. , 2004).

3.5.1 ACV de Produtos Têxteis

Há alguns anos que a indústria têxtil tem sido estudada pelo método da ACV. O intuito fundamental da utilização da ACV neste estudo é a avaliação e o cálculo dos impactos ambientais de duas malhas de algodão.

Em regra geral, a ACV é composta por três fases: preparação da matéria-prima, processamento têxtil (dados das indústrias envolvidas no projeto) e uso (dados de pesquisa de mercado realizada), tal como apresentado na figura 9 em mais detalhe.

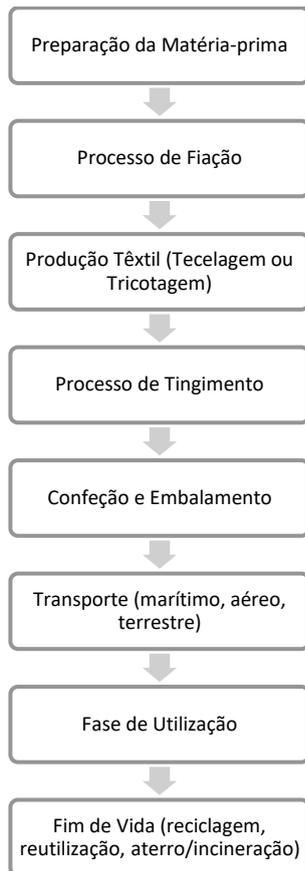


Figura 9 - Modelo generalizado de ciclo de vida de produtos têxteis, (Muthu, 2014)

Apesar do ciclo de vida de um produto apresentar estas fases, o presente estudo apenas se vai focar nas três primeiras fases, ou seja, desde a origem da matéria-prima até à tricotagem da malha, uma vez que são nestas etapas que estão presentes as três empresas envolvidas no projeto RFive.

De notar que, apesar de não ser avaliada a etapa de tingimento na malha reciclada uma vez que esta não é tingida, serão fornecidos valores de uma base de dados relativos aos impactos ambientais derivados da etapa de tingimento do algodão convencional.

3.5.2 Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida

Segundo a norma NP EN ISO 14040:2008, a ACV é composta por quatro etapas, tal como apresenta a figura 12:

- Definição do objetivo e âmbito do estudo;
- Análise de inventário das entradas e saídas de cada etapa;
- Avaliação de impactos ambientais do ciclo de vida;
- Interpretação.

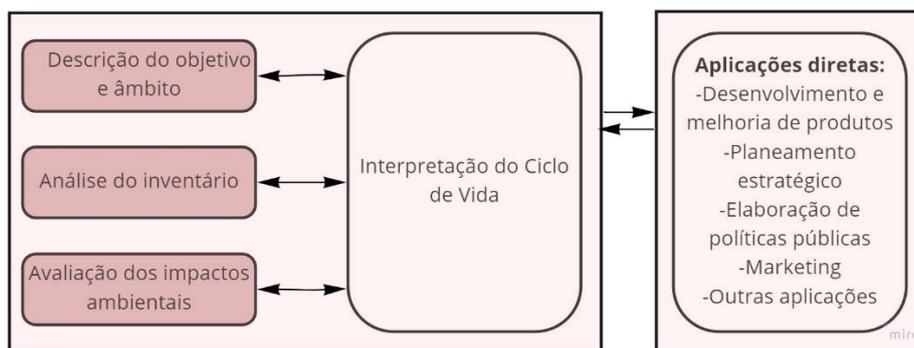


Figura 10 - Estrutura da ACV, segundo a NP EN ISO 14040:2008

Tal como se pode verificar na figura 10 deverá existir uma interação constante entre a etapa da interpretação e as restantes etapas de forma a verificar se o estudo vai de encontro aos objetivos inicialmente previstos ou se será necessária alguma reformulação.

Inicialmente, procedeu-se à definição do objetivo e ao âmbito do estudo da ACV, que está apresentado na secção seguinte. De seguida, recolheram-se os dados do inventário do ciclo de vida. Esses dados foram recolhidos em parte por mim, nas empresas Recutex e Fiavit, e os restantes dados foram fornecidos pela base de dados, com o intuito de complementar a informação.

A partir dos dados recolhidos construiu-se o inventário e procedeu-se à avaliação do impacto ambiental do ciclo de vida. Para isto foram determinados os indicadores ambientais mais relevantes tendo em consideração todas as etapas dos processos em análise, tais como: consumo de recursos energéticos, consumo de água, consumo de produtos químicos, emissões de dióxido de carbono (CO_2), emissões para a água e produção de resíduos, dando especial atenção ao consumo de recursos energéticos e consumo de água. Para além disso, selecionaram-se as categorias de impacto ambiental mais significativas. A contabilização e cálculo desses impactos foi realizada através de um *software* chamado GaBi (versão 10.6) com a metodologia ReCiPe 2016 V1.1Midpoint e abordagem hierarquistica (H). No seguimento da dissertação será explicado tanto a metodologia escolhida, como a abordagem e o *software*.

3.5.2.1 Definição do objetivo e âmbito

Nesta primeira etapa é descrito o propósito do produto em estudo, os motivos do estudo a ser realizado, bem como o público-alvo. Posteriormente à definição do objetivo, é determinado o âmbito que assegura os limites, a abrangência e o detalhe do estudo, com o intuito de se chegar ao objetivo pretendido. É importante ter em atenção alguns conceitos na definição do âmbito, tais como:

- Função do sistema do produto: considera a finalidade que o produto final se destina, baseada nas suas características de desempenho;

- Unidade funcional (UF): é uma referência uma vez que quantifica o sistema, definindo como os dados serão tratados no final da ACV. É importante principalmente quando se trata de estudos comparativos de produtos distintos, para quantificar o sistema e ser possível determinar fluxos de referência.
- Fronteira do sistema: deve ser definido em concordância com o objetivo e âmbito determinados, e os pressupostos adquiridos devem ser identificados e justificados. A fronteira do sistema determina quais os processos que devem ser incluídos na avaliação do ciclo de vida.
- Qualidade dos dados: os requisitos de qualidade dos dados devem ser definidos para que o objetivo e âmbito da ACV possam ser alcançados. Para tal, devem abranger os seguintes parâmetros:
 - A cobertura temporal: idade dos dados, ou seja, período mínimo durante o qual os dados deveriam ser recolhidos;
 - A cobertura geográfica: remete para a área geográfica onde os dados devem ser levantados;
 - A cobertura tecnológica: tecnologia específica ou conjunto de tecnologias;
 - A precisão: medida da variabilidade dos valores dos dados, para cada dado específico;
 - A fonte de dados;
 - Entre outros.

(Souza D. M., 2009)

3.5.2.2 Análise de Inventário do Ciclo de Vida

A etapa de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) envolve a recolha de dados e procedimentos de cálculo utilizados necessários para quantificar as entradas (energia, matéria-prima, produtos auxiliares) e saídas (dados referentes aos produtos, coprodutos, resíduos, emissões gasosas, para o solo e efluentes líquidos) de um sistema de produto, e de todas as suas variáveis. Esta etapa é uma ferramenta importante para a avaliação quantitativa de impactos ambientais, ou seja, quantifica os poluentes libertados no ambiente e energia e materiais consumidos (Merical, 2018).

Em relação à recolha de dados e cálculos, deve ser efetuada tendo em consideração o processo elementar, respeitando a fronteira do sistema (Souza D. M., 2009). Os fluxos elementares consistem nos materiais e energia que não sofrem alteração humana, enquanto os fluxos intermediários necessitam dessa transformação dentro do sistema (Leitão, 2016), tal como se pode perceber pela figura 11. Para além da recolha ser um processo extenso e intensivo, os dados referentes a cada unidade de processo, dentro das fronteiras, podem ser classificados em: Entradas de energia, matérias-primas e *inputs* físicos ou auxiliares;

- Produtos, coprodutos e resíduos;
- Descargas para o solo e água, emissões para a atmosfera;
- Entre outros aspetos ambientais.

(Rebitzer, et al., 2004)

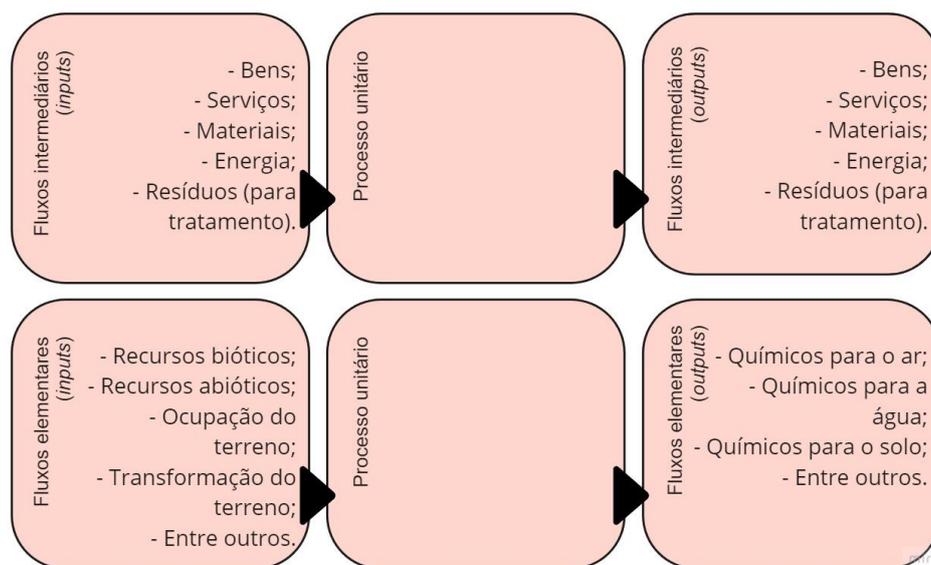


Figura 11 - Exemplo de análise de Inventário, (Pinheiro, 2014)

Segundo a norma, a obtenção de dados pode ser realizada através da indústria ou de bases de dados desenvolvidas especificamente para a ACV. Estas possuem alguns dados que, normalmente, são necessários para a construção de um inventário do ciclo de vida. Atualmente, é possível aceder a bases de dados através de softwares de ACV, sendo que dependendo da base de dados, o acesso e disponibilidade da informação pode variar (Rebitzer, et al., 2004). De notar que os dados devem ser baseados num período de tempo suficientemente longo para contornar situações que possam surgir, tais como paragens de máquinas ou perturbações no processo. Normalmente o período de tempo para a maioria dos dados existentes é o equivalente a um ano fiscal, o que é considerado suficiente para contemplar todas as situações que possam surgir ao nível dos processos (Ferreira J. V., 2004).

Assim que os dados estiverem recolhidos é necessário realizar-se procedimentos de cálculo com o intuito de gerar os resultados do inventário. Os procedimentos de cálculo incluem a validação dos dados recolhidos, a relação dos dados com os processos unitários e a relação dos dados com o fluxo de referência da unidade funcional.

Para processos em que há a geração de mais que uma saída, é importante realizar procedimentos de alocação (Souza D. M., 2009). Os procedimentos de alocação são métodos que repartem as cargas ambientais de um processo em estudo (Furtado, 2014), ou seja, processos industriais que lidam com mais que um produto, reciclam produtos intermédios ou atuam, como matéria-prima, produtos que foram descartados.

Segundo a norma NP EN ISO 14040:2008, à medida que os dados vão sendo recolhidos existe um processo iterativo com o sistema, podendo ser necessários pontos a alterar, com o objetivo de se cumprir com o objetivo do estudo. Com a definição do objetivo e âmbito do estudo é possível determinar o plano

inicial para a condução da fase de ICV. É necessário que durante a realização do plano para a análise do inventário do ciclo de vida sejam seguidas as etapas apresentadas na figura 12.

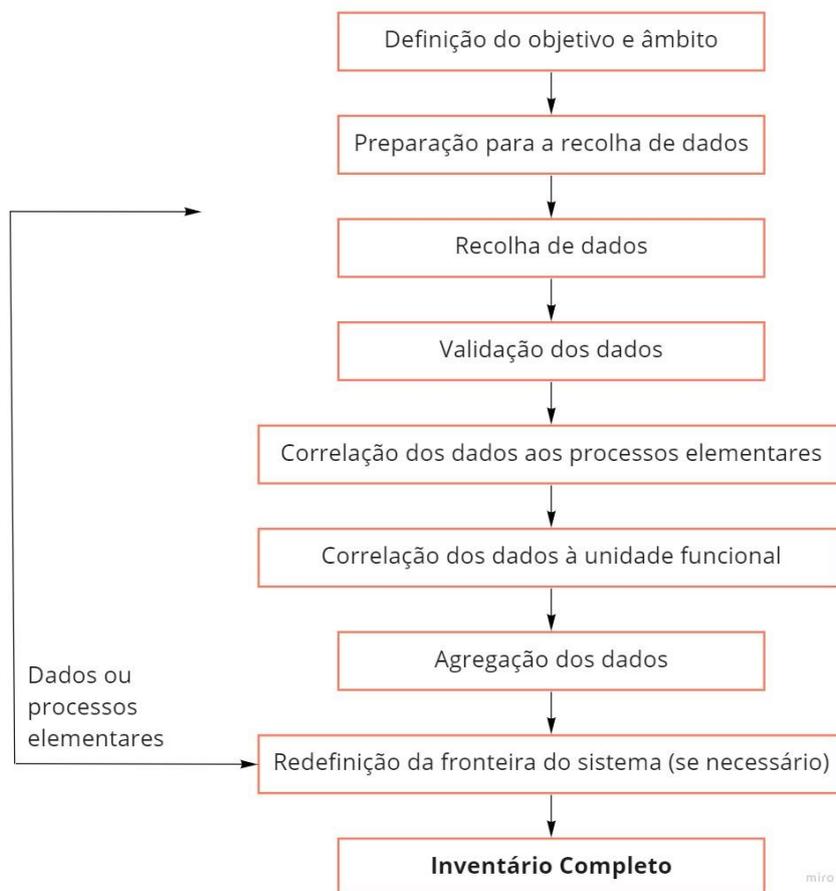


Figura 12 - Procedimentos resumidos para a análise de inventário, (Merical, 2018)

3.5.2.3 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Considerações Gerais

Esta etapa utiliza os resultados da etapa anterior (ICV) para avaliar a significância de aspetos ambientais que possam surgir no sistema definido na etapa de objetivo e âmbito. Para além disso, correlaciona os dados do inventário com os impactos definidos no âmbito, através da utilização de meios técnico-científicos, ou seja, estabelece relação entre os resultados do ICV, que se focam nos fluxos do sistema de produtos, como por exemplo as emissões atmosféricas, e os impactos, sendo que os impactos são as consequências desses fluxos (Appel, 2019). Exemplificando, relativamente às emissões atmosféricas, uma das possíveis consequências são os malefícios causados pela sua inalação. Para cada categoria de impacto, os indicadores são selecionados e os resultados dos indicadores de categoria são calculados. A recolha desses resultados fornece a informação sobre o impacto ambiental do uso de recursos e as emissões associadas ao sistema de produto. Desta forma, a quantificação destes impactos torna-se muito complexa uma vez

que é necessário um grande número de estudos ambientais que podem condicionar a recolha dos dados/informação (United Nations Environmental Programme, 2003).

A norma NP EN ISO 14044:2008 propõe que nesta fase haja uma estrutura com elementos obrigatórios e opcionais, tal como se pode observar pela figura 13. A separação da AICV é necessária pelos seguintes motivos:

- Cada elemento da AICV é distinto e pode ser claramente definido;
- Cada elemento pode ser considerado na etapa de definição do objetivo e âmbito da ACV;
- Para cada elemento pode ser elaborada uma análise de qualidade dos métodos de AICV, pressupostos e outras decisões;
- Entre outros.

(Programme, 2000)

A avaliação de impacto do ciclo de vida ocorre em três etapas, seleção, classificação e caracterização. Porém podem ser utilizados elementos opcionais – normalização, agregação e ponderação, tal como apresentado na figura abaixo (Bairras, 2016).

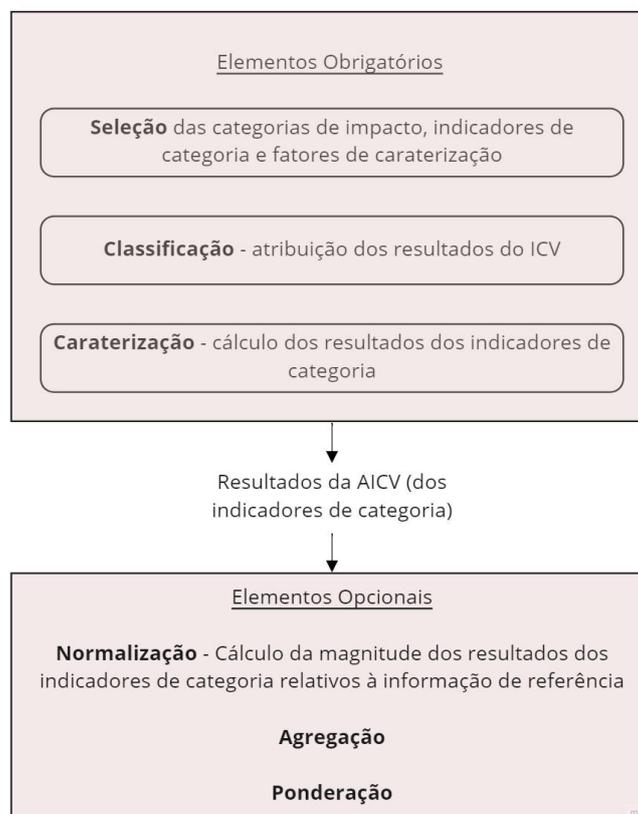


Figura 13 - Elementos da Avaliação do Ciclo de Vida (elementos obrigatórios e opcionais), (Bairras, 2016)

Os elementos obrigatórios transformam os resultados do ICV em resultados dos indicadores de categoria, chamado também de perfil ambiental, para as diferentes categorias de impacto. Já os elementos opcionais são utilizados para normalizar, agrupar ou pesar os resultados do indicador e técnicas de análise de qualidade dos dados (Ferreira J. V., 2004).

A etapa de **seleção**, tal como o nome indica, seleciona as categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização: as categorias de impacto indicam os problemas ambientais principais, sendo que podem ser provocados ou agravados pelo sistema em estudo; os indicadores de categoria e modelo de caracterização são escolhidos dependendo da determinação do método de avaliação de impacto a utilizar (Appel, 2019).

Na etapa de **classificação** ocorre a correlação dos resultados da etapa de Inventário em conjunto com as categorias de impactos escolhidas.

A **caraterização** calcula os resultados dos indicadores de categoria, o que significa que os fatores que contribuem para uma categoria de impacto são multiplicados por um fator de caraterização, que explicita o seu contributo sobre os impactos ambientais (Appel, 2019).

Os resultados dos indicadores de cada categoria de impacto representam o perfil da AICV para o sistema de produto. Na figura 14 pode observar-se um exemplo do processo de classificação e caraterização, com a seleção das categorias de impacto já feitas (elementos obrigatórios da AICV).

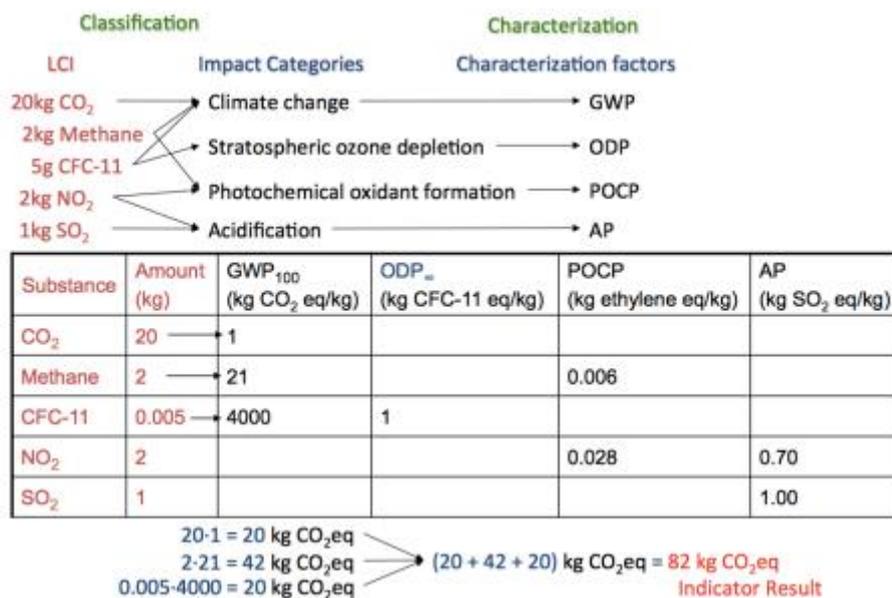


Figura 14 - Exemplo das etapas de Classificação e Caraterização (elementos obrigatórios), (Pinheiro, 2014)

Relativamente aos elementos opcionais tem-se a **normalização** que calcula os resultados dos indicadores de categoria em relação a valores referenciados. Nesta etapa, o objetivo é perceber melhor a magnitude

relativa a cada resultado de indicador do sistema de produto em análise. No entanto, trata-se de um elemento opcional dentro do estudo (Programme, 2000).

A agregação corresponde à ordenação e possível classificação das categorias de impacto.

A etapa de ponderação visa priorizar e possivelmente agregar os indicadores das categorias de impacto. Trata-se de uma comparação quantitativa da gravidade dos diferentes possíveis impactos dos sistemas de produto, geralmente com o intuito de se obter um único índice de desempenho ambiental (Programme, 2000).

Na tabela 1, estão resumidamente apresentados, os elementos obrigatórios e opcionais da fases de AICV.

Tabela 1 - Elementos da fase AICV, adaptado da fonte (Bairras, 2016)

Elementos Obrigatórios	Elementos Opcionais
Seleção	Normalização
Classificação	Agregação
Caraterização	Ponderação

Métodos de Avaliação de Impacto

Através de pesquisas desenvolvidas ao longo do tempo, é notório que não existe apenas um único método de avaliação de impacto que seja aplicado em todos os casos. Um dos exemplos é o desenvolvimento de métodos orientados para o *midpoint* (nível médio) e *endpoint* (nível do ponto final).

A escolha de métodos que abordam *midpoints* e outros que abordam *endpoints* pode ser justificada pela relação existente entre o produto e a atividade a ser avaliada. De uma forma esclarecedora, o *midpoint* remete para um método orientado ao problema, em que as cargas ambientais são agregadas consoante a sua contribuição para os impactos ambientais. E o *endpoint* remete para um modelo orientado aos danos, ou seja, corresponde aos impactos das intervenções ambientais para “áreas de proteção” (saúde humana, ambiente natural e ambiente modificado pelo homem) (Morita, 2013).

Um dos métodos existentes e também mais utilizados para a avaliação de impactos ambientais é o ReCiPe 2016, uma vez que possibilita a oferta dos resultados para ambos os níveis (*midpoint* e *endpoint*). Tendo em consideração o objetivo do estudo, o nível *midpoint* foi o selecionado e através da tabela 2 pode-se verificar as categorias existentes no método ReCiPe 2016 *midpoint* com as respetivas unidades.

Tabela 2 - Categorias de impacto midpoint, (Goedkoop, Huijbregts, Schryver, & Zelm, 2013)

Categorias de Impacto	Unidade
Mudança climática	Kg (CO ₂ para o ar)
Depleção de ozônio	Kg (CFC-11 ^a para o ar)
Acidificação terrestre	Kg (SO ₂ para o ar)
Eutrofização de água doce	Kg (Fósforo para a água doce)
Eutrofização marinha	Kg (Nitrogênio para a água doce)
Toxicidade humana	Kg (1,4- DCB ^a para o ar urbano)
Formação de oxidante fotoquímico	Kg (NMVOC ^a para o ar)
Formação de material particulado	Kg (PM 10 ^a para o ar)
Ecotoxicidade terrestre	Kg (1,4-DCB para o solo industrial)
Ecotoxicidade de água doce	Kg (1,4-DCB para água doce)
Ecotoxicidade marinha	Kg (1,4-DCB para água marinha)
Radiação ionizante	Kg (U235 para o ar)
Ocupação de terras agrícolas	m ² x ano (terras agrícolas)
Ocupação de terras urbanas	m ² x ano (terras urbanas)
Transformação de terras virgens	m ² x ano (terras virgens)
Depleção de água	m ³ (água)
Depleção de recursos naturais	Kg (ferro)
Depleção de recursos fósseis	Kg (óleo)

Segundo (Goedkoop et al.), o método ReCiPe 2016 apresenta três abordagens. Estas abordagens apenas são utilizadas para agrupar hipóteses e escolhas semelhantes e são identificadas como:

- Abordagem individualista (I): esta é baseada numa visão de interesse a curto prazo, com impactos indiscutíveis, possuindo otimismo tecnológico em relação à adaptação humana;
- Abordagem hierárquica (H): é apoiada nas políticas mais comuns no que concerne ao tempo e outras adversidades;
- Abordagem igualitária (E): sendo a abordagem que requer maior cautela, uma vez que tem em consideração um maior período de tempo e os tipos de impactos não se encontram totalmente estabelecidos.

Software GaBi (versão 10.6)

O *Software GaBi* é utilizado para avaliar aspetos ambientais, sociais, económicos, processos e tecnologias associados ao ciclo de vida de um produto, sistema ou serviço. Algumas das bases de dados que este software possui são a base de dados doecoinvent e da Sphera. É uma ferramenta utilizada para construir balanços de ciclo de vida, suportando uma grande quantidade de dados, bem como o seu manuseamento.

Para além disso, é possível realizar modelos do ciclo de vida do produto e cálculos de balanços de massa e energia de diferentes produtos (Solutions, 2022).

Através de um estudo realizado por (Rodrigues et al., 2008) sobre a importância da utilização de *softwares* para ACV (entre os quais o GaBi), a utilização desses *softwares* serve de auxílio para a condução dos estudos de ACV, especialmente na etapa de análise do inventário de ciclo de vida. O processamento de dados ocorrer de modo mais prático, de forma a garantir cálculos de maior fiabilidade. Para além disso, a disponibilidade de bases de dados por parte dos *softwares* faz com que a otimização do tempo com relação à recolha e tratamento dos dados e a apresentação dos resultados seja realizada através de gráficos e tabelas, facilitando a interpretação por parte do utilizador.

(Oliveira, Castro, & Safar, 2007) apresentaram um artigo referente à revisão teórica de 3 softwares (GaBi, SimaPro e Umberto). Através de dados obtidos, materiais disponibilizados pelos fabricantes e aplicações dos softwares em estudos de ACV, concluíram que o SimaPro é o *software* que apresenta informações mais organizadas, transparentes e fáceis de serem encontradas.

No entanto, como este era o *software* disponível pelo Citeve e uma vez que, segundo a literatura, é considerado um *software* completo, foi o utilizado no estudo.

Categorias de impacto ambiental

A metodologia utilizada para o estudo foi o ReCiPe versão 1.1 (atualizada em 2016) do grupo *midpoint*, que tem métodos orientados ao problema, isto significa que as cargas ambientais são agrupadas tendo em consideração a sua contribuição aos impactos ambientais, e a abordagem selecionada foi a hierárquica (H) que, para além de ser a mais comum, não é tão extremista como as restantes. Desta forma, as categorias de impacto utilizadas estão apresentadas na tabela 3. De seguida, segue-se uma breve descrição das categorias utilizadas.

Tabela 3 - Categorias de Impacto utilizadas

Categorias de Impacto utilizadas
Alterações Climáticas
Acidificação Terrestre
Eutrofização Aquática
Depleção Fóssil
Toxicidade humana, Ecotoxicidade terrestre e aquática

Alterações Climáticas (*Climate Change*)

As alterações climáticas fazem-se notar na mudança da temperatura, precipitação, o nível médio da água do mar, entre outros aspetos. Em algumas regiões, pode até ser benéfico estes efeitos derivados da mudança atmosférica (aumento da produtividade agrícola em países com latitudes elevadas), no entanto grande parte do mundo sente consequências negativas destes efeitos, tais como: extinção de animais e plantas, variações na produção agrícola, alterações nas épocas de secas e enchentes, redução de água potável, crescimento do aparecimento de doenças infecciosas (Bartholomeu, 2006).

Esta categoria representa o aumento da radiação infravermelha na superfície terrestre, proveniente especialmente da crescente quantidade de CO_2 , N_2O , CH_4 , aerossóis e outros gases de efeito de estufa na atmosfera que impedem a dispersão dos raios solares. Determina o modo que uma dada quantidade de um gás de efeito de estufa contribui para o aquecimento global, comparando o gás em questão com a mesma quantidade de dióxido de carbono. O aquecimento global é expresso em quilograma de dióxido de carbono equivalente ($kg CO_2 eq.$).

Acidificação (*Terrestrial acidification*)

Esta é uma categoria relativa à deposição de substâncias ácidas no ar, água e solo. Os resultados são expressos em quilograma de dióxido de enxofre equivalente ($kg SO_2 eq.$)

A deposição de substâncias inorgânicas, como sulfatos, nitratos e fosfatos causam alterações no pH do solo, alterando a acidez, sendo que um desvio significativo do nível ótimo de acidez é prejudicial aos ecossistemas terrestres e denomina-se por acidificação. As principais emissões responsáveis pelo fenómeno de acidificação são as de NO_x , NH_3 ou SO_2 . Os seus efeitos podem causar mortalidade de peixes, declínio florestal e deterioração da floresta e de materiais de construção (Guinée, 2002).

Eutrofização (*Freshwater eutrofication*)

Esta categoria trata-se das emissões resultantes da adição de nutrientes à água. Ocorre devido à descarga desses nutrientes no solo ou nos cursos aquáticos e consequente aumento dos níveis dessas substâncias (fósforo e azoto) nos mesmos. O aumento desses nutrientes pode causar uma elevada produção de biomassa e alterar a biodiversidade no sistema aquático e terrestre. Na água, o aumento da biomassa pode reduzir o oxigénio dissolvido, podendo levar à perda de espécies (Appel, 2019).

Os resultados desta categoria são expressos em quilograma de fósforo equivalente ($kg P eq.$).

Depleção Fóssil (*Fossil depletion*)

Refere-se ao consumo de recursos não renováveis, como os combustíveis fósseis. O termo combustível fóssil refere-se a um grupo de substâncias que contêm hidrocarbonetos. O grupo pode variar de materiais voláteis (como o metano, gasolina), para materiais não voláteis (carvão, antracite). A origem dos combustíveis fósseis líquidos e gasosos provém de há milhões de anos atrás em que, durante esse período de tempo, grandes quantidades de petróleo e gás foram formadas nos oceanos.

O processo utilizado para gerar eletricidade através da energia térmica é a queima de combustíveis. Para isso, é necessário que exista uma central termoelétrica responsável por realizar o processo. Nesse sentido, o material queimado – que pode ser gás, óleo, carvão ou biomassa – aquece um reservatório com água, que produz vapor a uma pressão muito alta (Energy, 2022).

A extração de combustíveis fósseis leva a uma diminuição na disponibilidade futura das funções fornecidas por esses recursos. E, para além disso, o aumento da extração de combustíveis fósseis leva à sua consequente escassez e, por sua vez, ao aumento de custos, devido à necessidade de alterar técnicas de produção ou de procurar uma nova fonte de extração (Goedkoop et al., 2013).

Os resultados são expressos em quilograma de petróleo equivalente (kg oil eq.).

Toxicidade humana, ecotoxicidade aquática e terrestre (*Human Toxicity, Freshwater Ecotoxicity e Terrestrial Ecotoxicity*)

Estas três categorias de impacto ambiental referem-se ao efeito das substâncias tóxicas nos seres humanos, no ecossistema aquático e no ecossistema terrestre. Para a sua determinação, todas as substâncias tóxicas utilizadas que são libertadas para o meio ambiente são contabilizadas e expressas em quilograma de 1,4diclorobenzeno equivalente (*kg 1,4 – DB eq.*).

Quanto à toxicidade humana, esta caracteriza os riscos para a saúde humana através de uma avaliação quantitativa dos riscos que representam os produtos químicos para saúde humana e meio ambiente. Este indicador tem como base “taxas de caracterização de risco” que referem o quanto as versões químicas são capazes de resultar em doses tóxicas, que excedem os níveis aceitáveis (Beton et al., 2014).

Relativamente às categorias de ecotoxicidade referem-se ao modo que os produtos químicos afetam o meio ambiente e os organismos que neles habitam. Os indicadores de ecotoxicidade referem quando as libertações químicas são capazes de resultar em doses tóxicas, que excedem os limites admissíveis (Beton et al., 2014).

3.5.2.4 Interpretação do Ciclo de Vida

A última etapa da ACV é a interpretação do ciclo de vida. Esta etapa consiste na avaliação do estudo tendo em consideração o objetivo e âmbito definidos. A interpretação resume-se em analisar os resultados e formular conclusões e estratégias para minimizar os impactos ambientais possíveis de serem gerados pelo

sistema em estudo. Fatores como limitações e recomendações são também utilizados para uma avaliação dos resultados obtidos (Appel, 2019).

Tal como se pode verificar na figura 15, a interpretação do ciclo de vida rege-se por três pontos importantes:

- **Identificação de questões significativas**, que contribuem para os resultados do inventário e da avaliação do inventário do ciclo de vida.
- **Avaliação** dos elementos, verificando a integralidade, sensibilidade e consistência.
- **Conclusões** da ACV: são realizadas após a verificação e identificam as **limitações** do estudo. Para além disso, de acordo com as aplicações pretendidas, desenvolvem **recomendações** dos resultados.

(Appel, 2019)

A identificação de questões significativas trata da revisão da informação vinda das três primeiras fases do processo da ACV, com o intuito de identificar os elementos que mais contribuiram para os resultados do ICV e da AICV. A identificação pode ser feita considerando o objetivo e âmbito, e também com o elemento de avaliação, sendo que é a identificação de questões significativas que comanda os passos desta avaliação. Segundo a norma a NP EN ISO 14044:2008, as questões significativas podem incluir

- Dados do inventário (como energia, emissões, resíduos, entre outros);
- Categorias de impacto (como a utilização de recursos, alterações climáticas, entre outros);
- Contribuições significativas das etapas do ciclo de vida para os resultados do ICV e AICV (como processos unitários ou grupos de processos – por exemplo, transporte e a produção energética).

(Corporation, 2006)

A avaliação tem como objetivo verificar a integridade, sensibilidade e consistência dos dados, garantindo a fiabilidade e o nível de confiança do estudo da ACV. Os resultados da avaliação do estudo devem ser apresentados de forma clara e compreensível.

Os elementos das conclusões, limitações e recomendações devem interpretar os resultados provenientes da AICV, com o objetivo de determinar quais os produtos ou processos com maior impacto nas áreas definidas no objetivo e âmbito. Em concordância com os restantes elementos da fase de interpretação, devem ser retiradas as conclusões. Para definir as recomendações deve-se ter em conta a aplicação pretendida para o estudo. Podem ainda surgir algumas limitações num estudo da ACV devido, por exemplo, à acessibilidade ou disponibilidade de dados importantes, também à falta de dimensões temporal e espacial nos dados de inventário que fazem com que surjam incertezas que podem afetar a credibilidade dos resultados (Appel, 2019).

Ainda na figura 15, pode-se verificar a correlação entre as três primeiras fases da ACV e cada um dos elementos da fase de interpretação. À medida que o objetivo e âmbito em conjunto com a interpretação

estruturam o estudo, as restantes fases (ICV e AICV) fornecem as informações relativas ao sistema de produto.

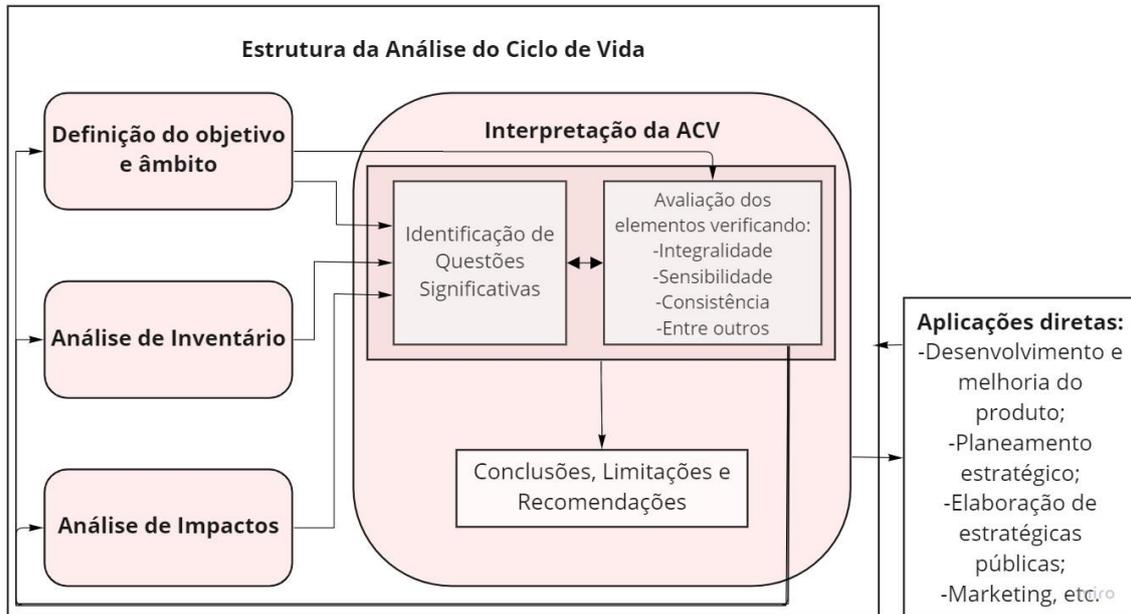


Figura 15 - Relação entre os elementos da fase de Interpretação com as outras fases da ACV, segundo a NP EN ISO 14044:2008

Em suma, segundo a norma NP EN ISO 14044:2008, a fase de interpretação deve incluir a identificação de questões ambientais com base nos resultados das fases anteriores (ICV e AICV) de uma ACV, bem como conclusões, recomendações e limitações (Bairras, 2016).

4 Metodologia

4.1 Definição do objetivo e âmbito da Avaliação do Ciclo de Vida

Na tabela 4 estão apresentadas as principais características das duas malhas em estudo.

Tabela 4 - Características das malhas/produtos em estudo: Malha Convencional e Malha Reciclada

Produto	Composição	Estrutura	Título do fio
Malha Convencional	100% CO Convencional	Jersey	Ne 20
Malha Reciclada	60% CO Reciclado/40% CO convencional	Jersey	Ne 20

A malha final, para ambos os casos, tem a mesma estrutura (jersey) e foram produzidas com o fio de massa linear Ne 20, em que ambos os fios foram obtidos pela fição open-end e tricotadas no mesmo tear (circular). A cor escolhida para ambos foi o marfim, no entanto não houve um fator relevante para esta escolha. Na malha reciclada a cor é formada pela cor do trapo e na malha convencional a cor é formada através do processo de tingimento.

4.1.1 Definição do objetivo e âmbito

Este estudo de ACV tem como objetivo a comparação de duas malhas, uma constituída por 100% algodão convencional e outra composta por 60%CO reciclado pré-consumo/40%CO convencional, comparando os impactos ambientais na produção de cada uma e verificar se a utilização de algodão reciclado reduz os impactos ambientais.

4.1.2 Função e Unidade funcional

A avaliação do ciclo de vida foi efetuada a dois produtos com processos distintos, ou seja, a malha constituída por algodão convencional que utiliza o processo de tingimento e a malha constituída por algodão reciclado em que o processo é diferenciado ao nível da obtenção da matéria-prima (fibra).

A malha convencional passa pelo processo de cultivo/colheita, fição, tingimento do fio e tricotagem, enquanto a malha reciclada passa pelo processo de obtenção de fibra, fição e tricotagem. A fibra do algodão reciclado é obtida através da reciclagem de sobras de malha das confeções associadas à empresa. Ambas as malhas serão utilizadas para confeção de artigos têxteis. A unidade funcional definida para ambos os produtos foi 100kg de malha acabada.

4.1.3 Sistema de produto e fronteiras do sistema

Apesar de um ciclo de vida de um produto apresentar mais fases, a fronteira do sistema deste estudo é do tipo *cradle-to-gate*, ou seja, considera desde a produção de matéria-prima até à saída da malha acabada, incluindo a produção das várias fontes de energia consumidas, produção de combustíveis e dos diferentes produtos químicos, e transporte utilizados no processo produtivo.

A malha produzida pelo processo convencional é constituída por fibra 100% algodão convencional, que passa pelo processo de produção da fibra de algodão, fiação, tingimento do fio e tricotagem, como apresentado na figura 16.

Em contrapartida ao ciclo de vida do algodão convencional, o algodão reciclado apresenta etapas ligeiramente diferentes no seu início. Tal como se pode verificar pela figura 17, as etapas que vão ser consideradas para este estudo são as seguintes: produção de algodão convencional (realizado na Recutex); o processo de fiação realizado na Fiavit e, por fim, a tricotagem. Tanto o processo de fiação como o de tricotagem foram considerados os mesmos para ambos os produtos de estudo – malha convencional e reciclada.

Tal como mencionado anteriormente, como o fio de algodão reciclado deste estudo não é tingido, o processo de tingimento não será contabilizado para este fio.

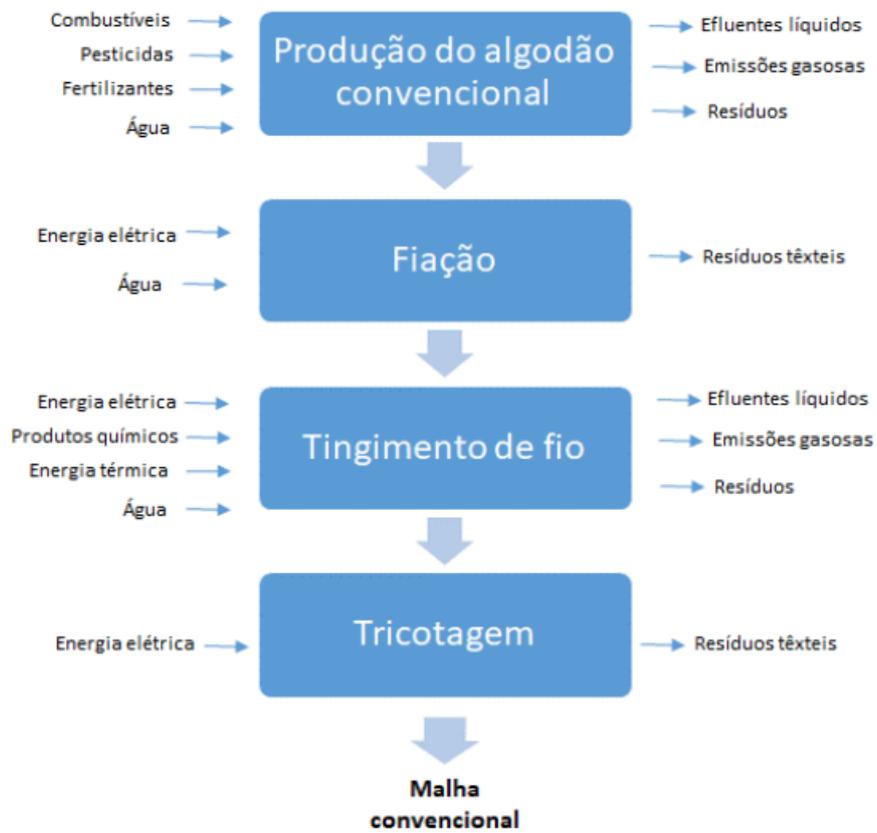


Figura 16 – Fluxograma do Processo Produtivo da Malha Convencional, acervo do autor

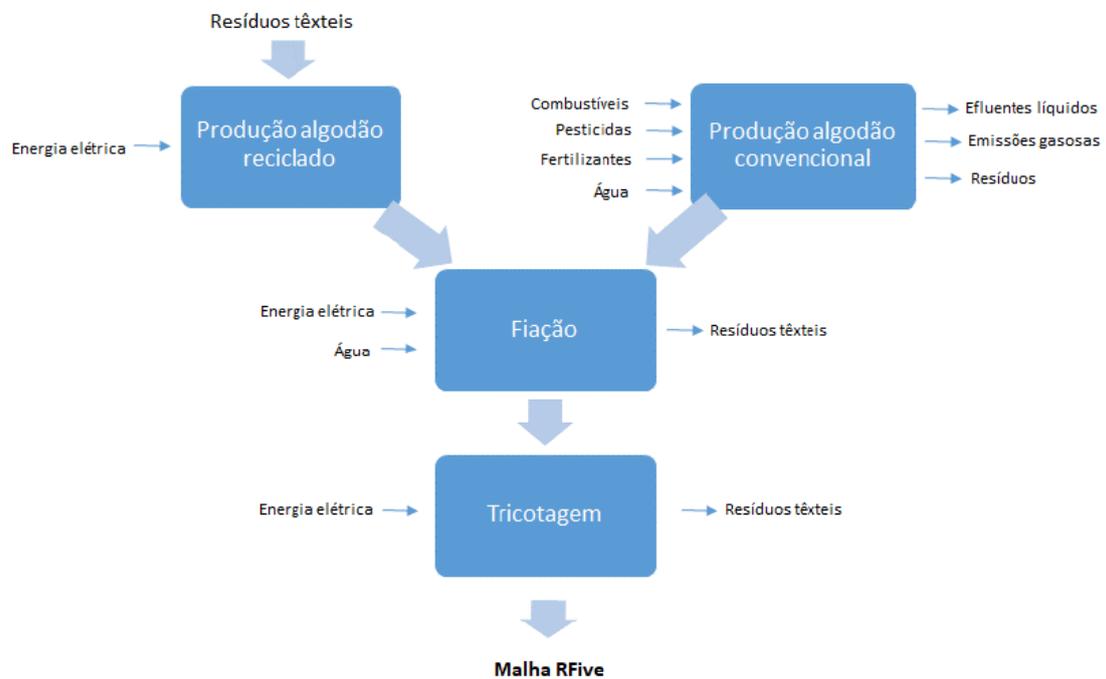


Figura 17 - Fluxograma do Processo Produtivo da Malha Reciclada, acervo do autor

Na fronteira do sistema constam todas as etapas que abrangem o estudo. Para melhor compreensão de cada etapa, as mesmas foram subdivididas em subsistemas: produção da fibra de algodão (reciclado ou convencional), fição, tricotagem e tingimento do fio (no caso da malha convencional).

Produção de algodão reciclado

Tal como mencionado anteriormente, a produção da fibra de algodão reciclado é realizada na empresa Recutex. O trapo provém de sobras têxteis que, caso não fossem reaproveitadas, se tornariam resíduos, acabando por ser incineradas ou colocadas em aterros e, desta forma, contribuindo para a poluição do meio ambiente.

Posto isto, a obtenção/recolha das sobras é realizada em empresas têxteis vizinhas, que se situam num raio de 20 a 30 km. Estes trapos chegam à Recutex em tiras grandes e são colocados nas cortadoras para se proceder à trituração mecânica (1 ou 2 cortes), com o intuito de se obter tiras de tamanho menor. Seguidamente passam para uma box onde a matéria-prima é envolvida para ficar o mais homogênea possível. Desta fase inicial, o último processo é realizado nas esfarrapadeiras com o intuito da obtenção da fibra 100% reciclada (figura 18).



Figura 18 - Processo de Reciclagem da matéria-prima (Recutex), acervo do autor

Esta etapa é 100% mecânica, ocorre sem a utilização de água e químicos.

Nesta fase, como entradas temos a utilização de resíduos têxteis de algodão resultantes de desperdícios e como saída obtém-se a fibra de algodão reciclado. Para todas as máquinas tem-se como entrada o consumo de energia elétrica necessária para o funcionamento das máquinas referidas (cortadoras, box, esfarrapadeira), incluindo o transporte das fibras por condutas de máquina para máquina. Como consumos gerais existem ainda entradas de energia elétrica, correspondentes à iluminação geral da secção e ar comprimido, e ainda aspiradores presentes no chão que recolhem os resíduos formados. Durante o processo existe ainda a produção de resíduos têxteis de fibras mais curtas libertadas pela esfarrapadeira. Todos os restantes resíduos não têxteis, plástico de embalagem dos fardos, fitas para amarrar os fardos

são reutilizados, não sendo considerados resíduos. A figura 19 apresenta o esquema do processo de produção da fibra de algodão reciclado.

A rama de algodão reciclado foi obtida através da reciclagem de restos de malha das confeções associadas à empresa Lurdes Sampaio (resíduos pré-consumo). Como os restos de malha são resíduos de outros processos e são reaproveitados, foram considerados como não tendo impacto ambiental.

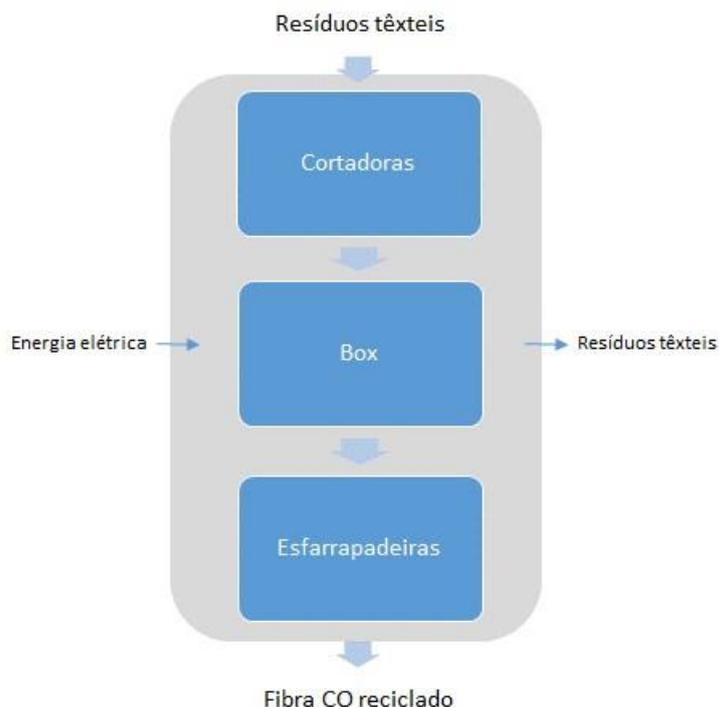


Figura 19 - Esquema do processo de produção da fibra de algodão reciclado, acervo do autor

Produção de algodão convencional

O início do processo da produção de algodão dá-se com a escolha da semente de algodão que será utilizada, tendo em consideração o tipo de clima, solo e qualidade da fibra. Uma vez que o algodão possui algumas vulnerabilidades e particularidades que o tornam sensível à infestação de pragas e insetos, durante o cultivo, a semente é tratada com um pesticida específico para evitar que a semente de algodão seja atacada pelos fungos e, como consequência, não germine (Mercial, 2018).

Paralelamente aos pesticidas aplicados na semente, o solo deve ser adubado para se poder passar ao processo de semear a semente de algodão previamente tratada. Durante este processo de crescimento são aplicados inseticidas, herbicidas e desfolhantes, dependendo da necessidade do processo, com a ajuda de máquinas agrícolas especializadas. Este conjunto de operações, devido aos produtos que utilizam tanto para o tratamento das sementes, como para a preparação do solo e continuação de tratamento do solo, englobam variados impactos para o meio ambiente e saúde humana (Donke, 2013).

Para ser realizado o cultivo é necessária mão de obra numerosa que é realizada pelos agricultores. No entanto, pode também ser utilizada maquinaria em propriedades medias e grandes (Nunes, R. Silva, & R. M. Nunes Filho, 1999).

Após a plantação, ocorre a colheita/descaroçamento do algodão, que por norma é feito manualmente. Pode também ser feito por processos mecanizados, porém não são muito utilizados uma vez que a abertura das cápsulas não se dá ao mesmo tempo. Este processo é utilizado para separar as fibras das sementes, sendo as fibras a parte comercialmente interessante do algodoeiro. É acompanhado por processos de secagem, com o objetivo de reduzir a humidade e melhorar a qualidade da fibra. Por último, essas fibras são comprimidas e aglomeradas, podendo ser chamadas de pluma ou rama de algodão (Cardoso, 2013).

A cultura algodoeira requisita de renovação dos solos, consoante o uso de fertilizantes, rotação de culturas ou então descanso do solo por certo período (Souza C. S., 2011).

No subsistema da produção da fibra de algodão foram considerados todos os insumos necessários para o cultivo, tais como a água usada na rega das plantações; a utilização de máquinas agrícolas; o consumo de produtos químicos utilizado nas plantações para fertilizantes, pesticidas, fungicidas, entre outros. Como saídas considerou-se os resíduos gerados, por exemplo, no processo de enfardamento; as emissões para o solo e ar geradas através da utilização dos produtos químicos; ainda as emissões para a atmosfera pelas máquinas utilizadas durante o cultivo e durante o transporte da mercadoria (fibra de algodão) de um país para o outro; a contaminação da água que pode ser feita durante a plantação e durante o transporte da mercadoria via marítima. Na figura 20 estão apresentadas as entradas e saídas da produção do algodão convencional, bem como o fluxograma do processo.

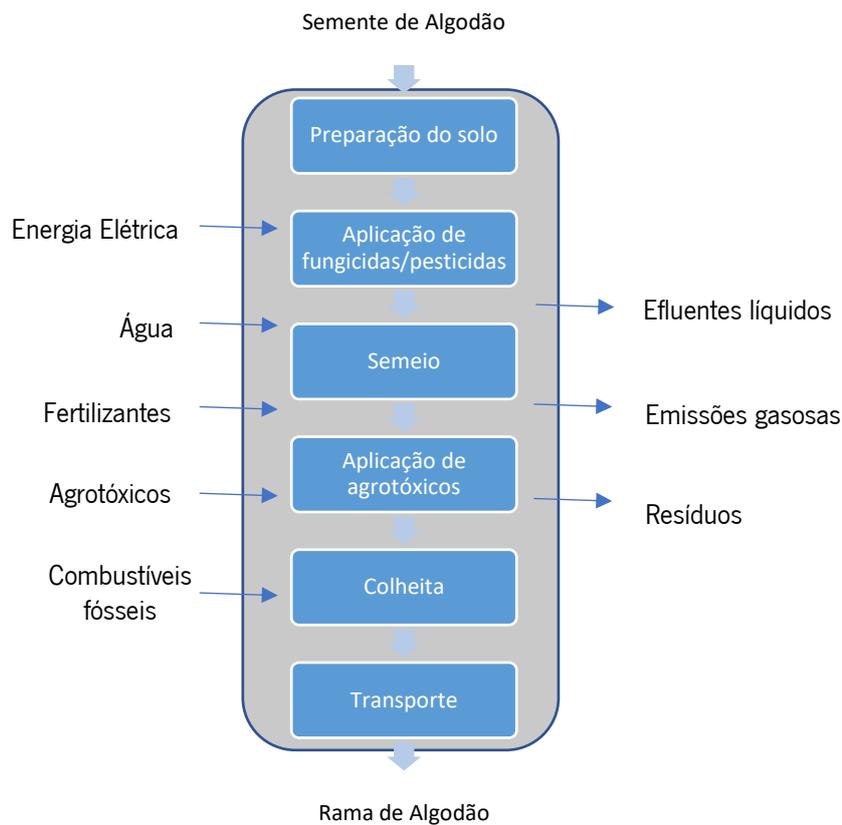


Figura 20 - Entradas e saídas da produção de algodão convencional, acervo do autor

Processo de Fiação

Este é um processo de transformação de matéria-prima fibrosa, anteriormente tratada, em fio. Tal como apresentado na figura 21, no começo do processo de fiação existe uma balança que pesa a quantidade de cada fibra e, seguidamente, é realizada uma mistura dessas fibras, no batedor. No caso do fio convencional, a fibra é constituída apenas por algodão convencional, já no fio reciclado, será uma mistura de 60% algodão reciclado, vindo do processo anterior, e 40% algodão convencional, uma vez que segundo o feedback dado pela empresa Fiavit, não é possível tricotar uma malha com fio 100% reciclado visto que o fio se desfaz no processo.

Wulfhorst (1984) concluiu que até 20% das fibras recicladas podem ser misturados com matéria-prima primária, sem que ocorram alterações perceptíveis na qualidade do fio. Ainda segundo, Halimi et al. (2008) foi possível determinar que a adição de algodão reciclado numa quantidade entre 15% e 25% não afeta a qualidade do fio. No entanto, ainda não existem muitos mais estudos na literatura que comprovem melhorias de percentagens admissíveis sendo que foi necessário junto da produção da empresa, e tendo em consideração os anos de experiência dos mesmos, chegar a uma conclusão. Posto isto, tendo em

consideração esta mistura de fibras (60/40) e para ser possível obter-se um fio com resistência, a massa linear do fio será um Ne 20.

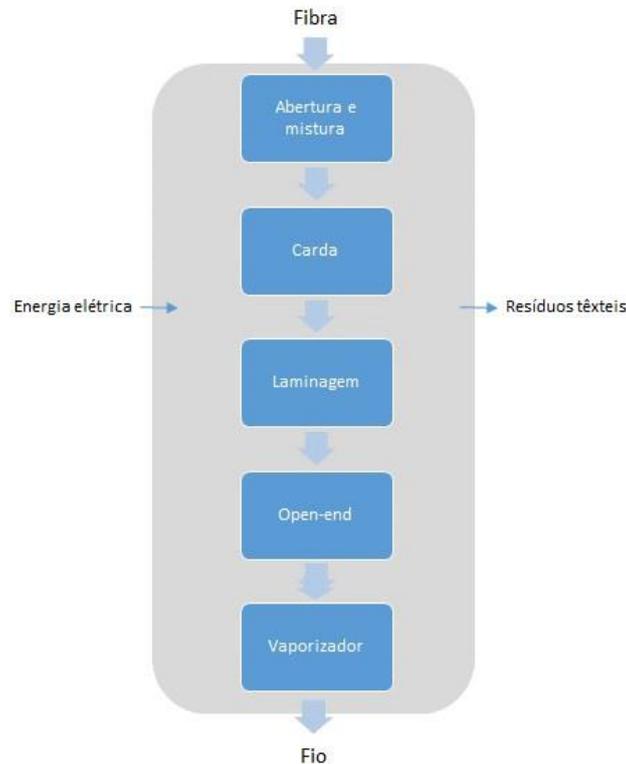


Figura 21 - Entradas e saídas da processo de fiação para ambas as malhas, acervo do autor

A fibra previamente misturada, segue para a etapa de cardação que se realiza na carda. Neste processo, para além de ser realizada uma ação de limpeza, as fibras são separadas e paralelizadas com a finalidade de as preparar para a ação de estiragem, obtendo-se no final do processo a fita.

A próxima etapa sucede-se nos laminadores. O principal intuito é misturar várias fitas de carda para a obtenção de uma nova e com isto uniformizar o diâmetro do material, eliminando também algumas irregularidades formadas no processo anterior. As fibras são paralelizadas para que seja possível sofrerem estiragens. Os laminadores são caracterizados por alinhar e paralelizar as fibras, aumentando o seu comprimento. É neste processo que se dá a uniformização da qualidade das fibras (Souza C. S., 2011).

Por fim, a mecha saída da carda passa para a máquina *open-end*, onde se dá a produção do fio propriamente dito. Nesta, os fios fabricados são colocados diretamente nos cones, não necessitando da etapa de bobinagem. A fiação *open-end*, denominada por não convencional, só produz fios cardados, sendo fiada diretamente das mechas, o que evita a necessidade da mecha feita pelo torce. Este tipo de fiação utiliza menos maquinaria do que a convencional, no entanto produz fios mais grossos e com menor resistência do que os fios produzidos pela fiação por anéis (Cardoso, 2013). É ideal para uma fiação de fibras curtas. A fiação *open-end* possuem maior produtividade do que a fiação convencional, uma vez que podem atingir uma maior velocidade de produção (Pereira, 2010), para além disso o processo de fiação

open-end permite eliminar algumas fases do sistema convencional de fiação (tais como, a reunideira de fitas, reunideira de mantas e a penteadeira), tornando-se um processo mais simples e curto. Este processo é realizado na empresa Fiavit.

Nesta etapa, como entradas tem-se:

- Energia elétrica em todas as máquinas mencionadas (misturadora, carda, laminador, open-end e vaporizador) + energia elétrica relativa à iluminação da secção + energia elétrica referente ao ar comprimido.

Relativamente às saídas tem-se resíduos têxteis resultantes de todo o processo.

Tingimento do fio

Esta etapa é apenas considerada para o processo produtivo da malha convencional, uma vez que a malha reciclada é, em grande parte, obtida a partir de resíduos têxteis, que já têm cor associada, dando assim cor à malha final.

O tingimento é um processo químico que modifica a cor do substrato têxtil através da utilização de pigmentos ou corantes. No processo de tingimento de fio em autoclave, o fio é enrolado sobre suportes perfurados, através dos quais é realizada uma circulação de um banho de tingimento. Desta forma, o fio está colocado em cones perfurados, chamados cones de tinturaria (figura 22), em que estes estão dispostos em suportes verticais, através do qual o banho se move, existindo assim uma melhor circulação do fluxo da solução (Revello, 2002). Na figura 23, estão apresentados os cones de cartão que são as bobines onde os fios já tingidos são colocados para entrega ao cliente.



Figura 22 - Cone de tinturaria, acervo do autor



Figura 23 - Cone de cartão, acervo do autor

O processo de tingimento de fibras celulósicas (nomeadamente o algodão) pode ser realizado por uma grande variedade de corantes, sendo que os corantes mais utilizados são os reativos, diretos, azóicos, de cuba, ftalocianina e sulfurosos. No entanto, segundo a literatura, grande parte das fibras celulósicas, principalmente o algodão, são tingidas com corantes reativos (Lange, 2004).

Estes apresentam algumas vantagens, tais como, ampla gama de cores, métodos de operações simples, alta produtividade, ótimo grau de solidez, entre outros (Carbona, 1983). De uma forma geral, os corantes reativos oferecem o brilho, a economia e a facilidade de aplicação pedida pela indústria (Souza D. P., 2004).

Para o fio poder ser tingido, é necessário que a bobine contenha as perfurações mencionadas anteriormente (figura 22) para o tingimento ser uniforme. Uma vez que o fio, regra geral, vem da fiação em cone de cartão, é necessário realizar a troca de bobine para se proceder ao tingimento. Esse processo é feito nas bobinadeiras. De notar que este processo é opcional, visto que o fio pode já vir colocado em bobines de tinturaria. Seguidamente, o tingimento propriamente dito é realizado na máquina autoclave em que são utilizados os suportes abaixo apresentados. Após o tempo necessário no tingimento, as bobines passam pelo processo de secagem no secador e voltam às bobinadeiras para realizar a passagem do cone de tinturaria para o cone de cartão e ainda o processo de parafinação do fio. O processo está esquematizado na figura 24.



Figura 24 - Processo de tingimento de fio, acervo do autor

Relativamente à recolha dos dados necessários e tendo em consideração que não foi possível recolher os dados de produção reais, recorreu-se à base de dados da ACV que contém dados genéricos desta etapa. A série de dados utilizada representa o tingimento de fio em autoclave e respetiva secagem.

No tingimento do fio existem elevados consumos de energia elétrica, energia térmica, água e produtos químicos, e como principais saídas existem emissões de efluentes líquidos, efluentes gasosos e resíduos, tal como apresentado na figura 25.



Figura 25 - Entradas e saídas do processo de tingimento do fio, acervo do autor

De notar que foi optado pelo estudo do tingimento de fio ao invés do tingimento da malha, por ser um processo mais económico. Porém, com o desenvolvimento da dissertação veio a apurar-se que, em termos

práticos, apesar do tingimento em bobines apresentar boa igualação, para malhas lisas pode verificar-se diferenças de cor ao longo da malha (Lange, 2004).

Tricotagem

A tricotagem consiste na obtenção de malha a partir de fios produzidos na fiação. Esta etapa é igual para ambos os processos em análise, algodão convencional e algodão reciclado, e foram considerados os mesmos consumos. Através do feedback dado por um malheiro, considerou-se que o tempo de tricotagem era o mesmo, assim como todos os consumos. Apesar de na tricotagem da malha reciclada poder existir mais paragens devido à utilização de fio reciclado e, conseqüentemente, de um aumento no tempo de produção da malha implicando maiores gastos.

Os teares circulares são por norma responsáveis pela produção da parte principal das malhas, enquanto os teares retilíneos costumam produzir mais frequentemente os acessórios, como por exemplo golas e punhos. Os teares circulares são máquinas mais utilizadas na tricotagem, caracterizando-se por possuírem um grande número de alimentadores dispostos em círculo, produzindo uma malha tubular contínua. São máquinas de elevado rendimento, capazes de produzir malhas com as mais variadas características. Um exemplo de tear circular está apresentado na figura 26.



Figura 26 - Exemplo de tear circular, (Brandit, 2022)

A estrutura da malha em análise para este projeto será o jersey, uma vez que a malha a produzir será nessa estrutura. A estrutura jersey, apresentada na figura 27, é a mais simples e económica de produzir, sendo geralmente produzida em teares circulares numa única fileira de cames. Para a formação desta estrutura, todas as agulhas sobem para formar laçadas normais em todas as fileiras. Os teares que produzem jersey têm apenas um sistema de agulhas (monofrontura) (Araújo, 1988).

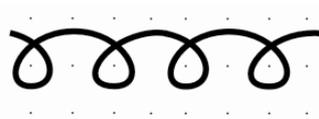


Figura 27 – Representação Gráfica do Jersey, (Araújo, 1988)

Não tendo sido possível recolher dados de produção reais, para a etapa de tricotagem, utilizaram-se dados genéricos de base de dados da ACV. A série de dados utilizada representa a tricotagem de um Jersey de algodão em tear circular.

Nesta etapa como entradas temos apenas energia elétrica (proveniente da própria máquina – tear, da iluminação geral da secção e ar comprimido). A série de dados utilizada considera a utilização de energia térmica para a climatização e parafinas nos teares. Nas parafinas, estão incluídos também os óleos e lubrificantes utilizados nos teares. Como saída tem-se, mais uma vez, a produção de resíduos têxteis não-reaproveitados. Na figura 28, estão esquematizadas as entradas e saídas no processo de tricotagem.



Figura 28 - Entradas e saídas no processo de tricotagem, acervo do autor

4.1.4 Fontes de dados e requisitos de qualidade

Para os dados utilizados neste projeto podem ser categorizados em dois grupos distintos, tais como:

- Dados específicos da empresa: nomeadamente os dados medidos de consumos de energia, dados registados dos contadores de gás natural e dados fornecidos de consumos de água e produtos químicos;
- Dados genéricos: são valores referentes a um determinado país ou região que provêm de bases de dados de suporte.

As fontes para os diversos tipos de dados utilizados estão identificadas na tabela 5. De notar que no ponto 4.2 serão especificadas as séries utilizadas para cada um dos processos.

Tabela 5 - Categorias dos dados utilizados para a realização da ACV

Etapa	Categoria dos dados	Fonte
Produção de CO Reciclado	Medidos, específicos da empresa	Recutex
Produção de CO Convencional	Genéricos (<i>mix</i> global)	Base de dados
Fiação	Medidos, específicos da empresa	Fiavit
Tricotagem	Medidos, específicos da empresa	Base de dados
Tingimento do fio	Medidos, específicos da empresa	Base de dados
Produção de energia elétrica	Genéricos (mix de produção de Portugal)	Base de dados
Produção de energia térmica	Genéricos	Base de dados
Produção de produtos químicos	Genéricos	Base de dados
Transporte	Genéricos	Base de dados

4.2 Inventário do Ciclo de Vida

4.2.3 Dados do inventário

Tal como mencionado anteriormente, os dados utilizados neste projeto podem ser categorizados em dados específicos do produto, objetivos pelas respetivas empresas, e dados genéricos, referentes às bases de dados de suporte.

- **Produção de algodão convencional (matéria-prima)**

O impacto ambiental da produção de algodão convencional baseia-se em dados genéricos da base de dados do *ecoinvent*, série de dados “Market of fibre, cotton, conventional”. Esta série de dados representa o impacto do fornecimento de algodão convencional das atividades que o produzem para as atividades que o utilizam, tendo em consideração todas as etapas (desde a plantação até à fibra de algodão em fardo). Para além disso, considera também os valores médios para o transporte entre as principais regiões produtoras de algodão e as principais regiões utilizadoras do mesmo.

Os impactos ambientais da produção de algodão convencional são baseados em dados fornecidos pelos 3 principais produtores de algodão (Índia, China e EUA). De um modo geral, a série de dados contém valores referentes às entradas: fertilizantes utilizados, controladores de pragas, combustível para o funcionamento das máquinas agrícolas, água, energia elétrica, ocupação do solo, etc. E, para além das entradas mencionadas, também possui dados das saídas: emissões para o ar (por exemplo, dióxido de carbono,

metano, etc), emissões para a água (tais como, nitrato, fosfato, etc) e emissões para o solo (como por exemplo, fosfato, cobre, mercúrio, entre outros).

- **Produção de algodão reciclado (matéria-prima)**

Os dados referentes ao processo produtivo da produção de algodão reciclado são dados específicos da empresa Recutex, uma vez que foram dados recolhidos na mesma. Os consumos de energia elétrica (tanto das máquinas, como do ar comprimido e da iluminação) foram medidos na empresa e a quantidade de resíduos têxteis foi obtida por balanço mássico. De notar que os resíduos têxteis, apesar de não serem reaproveitados neste processo produtivo, são utilizados para produzir outro tipo de produtos como cobertores, entre outros produtos.

Na tabela 6 estão apresentados os dados fornecidos por quilo de fibra de algodão, sendo que foram necessários 82kg de resíduos pré-consumo (60%) e 57kg de fibra de algodão convencional (40%).

Tabela 6 - Dados recolhidos na empresa para o processo de produção de algodão reciclado

Indicadores/Produto	Unidades	Valor
Consumo específico de energia elétrica	kWh/kg	3,11
Quantidade específica de resíduos têxteis	kg/kg	0,038

- **Fiação**

Os dados que se referem ao processo de fiação são dados obtidos na empresa Fiavit. Os consumos de energia elétrica (das máquinas, ar comprimido e iluminação) de cada uma das fases inerentes ao processo de fiação foram medidos na empresa e a quantidade de resíduos têxteis obtida por balanço mássico. Relativamente à quantidade de água, esta não foi possível de calcular na empresa, por isso os dados foram obtidos através de uma base de dados. De notar que, tal como no processo de produção da fibra de algodão reciclado, os resíduos têxteis não reaproveitados existentes neste processo, são vendidos à Recutex para a fabricação de novos produtos.

Na tabela 7 apresentam-se os dados fornecidos pela série de dados.

Tabela 7 - Dados recolhidos na empresa para o processo de fiação

Indicadores/Produto	Unidades	Valor
Consumo específico de energia elétrica	kWh/kg _{malha}	5,01
Quantidade específica de resíduos têxteis	kg/kg _{malha}	0,14

- **Tricotagem**

Idealmente, os dados desta etapa deveriam ser dados reais de produção, específicos do produto em estudo. No entanto, não foi possível recolher os dados em empresa uma vez que não houve parceiros para o projeto RFive que estivessem disponíveis para colaborar. Desta forma, utilizaram-se dados genéricos de uma série de uma base de dados própria. Essa série de base de dados chamada “Textile Production, cotton, circular knitting”, representa a tricotagem de um Jersey de algodão em tear circular, com base em uma média global e foi atualizada pela última vez em 2020, apresentando os dados mostrados na tabela 8.

Tabela 8 - Dados obtidos a partir da base de dados para o processo de tricotagem

Indicadores/Produto	Unidades	Valor
Consumo específico de energia elétrica	kWh/kg _{malha}	0,267
Consumo de energia térmica (climatização)	MJ/kg _{malha}	1,39
Quantidade específica de resíduos têxteis	kg/kg _{malha}	0,02
Parafina	kg/kg _{malha}	0,00177

- **Tingimento do fio**

Tal como acontece no processo de tricotagem, o desejado seria que, para esta etapa, os dados recolhidos fossem os reais de produção, específicos do produto em análise. Porém, não foi possível pelo mesmo motivo do processo de tricotagem, pelo que foram utilizados dados genéricos da base de dados *ecoinvent*, série de dados “bleaching and dyeing yarn”. Esta série de dados representa uma média global, sendo que foi atualizada pela última vez em 2020. Tendo consideração a série da base de dados, na tabela 9 pode-se observar os dados para o processo de tingimento de fio em autoclave.

Tabela 9 - Dados obtidos a partir da base de dados ecoinvent, "bleaching and dyeing yarn" para o processo de tingimento do fio

Indicadores/Produto	Unidades	Valor
Consumo específico de energia elétrica	kWh/kg _{malha}	0,9
Consumo específico de energia térmica	MJ/kg _{malha}	13
Consumo de produtos químicos (corantes e produtos auxiliares)	kg/kg _{malha}	0,43
Consumo de água	L/kg _{malha}	117

- **Energia elétrica e gás natural**

Tal como mencionado anteriormente, a energia elétrica consumida em cada uma das etapas do processo de produção do algodão reciclado e fição foi recolhida nas respetivas empresas. Para os processos de tricotagem e tingimento do fio foram utilizados valores das séries de dados do *ecoinvent* mencionadas anteriormente. Mas os impactos ambientais associados à produção da energia elétrica utilizada foram baseados numa série de dados do software GaBi para o mix de produção de energia elétrica em Portugal. A série de dados representa o fornecimento de eletricidade aos consumidores finais na gama de tensões de 1 – 60kV em Portugal, com dados do ano de 2018 (26% gás natural, 20% carvão, 23% hídrica, 22% eólica, 5% biomassa, 2% fotovoltaica, 2% outras renováveis).

A produção de energia elétrica pode ser feita através de fontes de energia renováveis e não renováveis. O gás natural e o carvão correspondem a fontes de energia primária não renováveis, e a biomassa, energia hídrica, energia eólica e fotovoltaica a fontes de energia primária renováveis. Não é demais mencionar que os impactos ambientais associados à produção de energia elétrica a partir de energias não renováveis têm um impacto mais significativo no meio ambiente, como por exemplo no tocante à redução da camada de ozono, à sobrecarga dos solos e à contaminação de água e da atmosfera. Indiretamente, as energias não renováveis acabam por causar impactos negativos à saúde humana através da poluição atmosférica gerada (calor, queima e extração dos combustíveis) (Impactos ambientais, 2018).

A energia térmica consumida no processo produtivo, nomeadamente na etapa do tingimento do fio na malha convencional é proveniente de vapor produzido em caldeiras de gás natural (100% fóssil). Na etapa da produção da matéria-prima de algodão convencional também é utilizada energia térmica para a produção dos combustíveis utilizados nas maquinarias, esse dados já estão a ser considerados no valor da série de dados.

- **Produtos químicos**

No caso dos produtos em análise neste estudo, os produtos químicos praticamente só são utilizados na malha convencional, na etapa do tingimento de fio. Tal como mencionado anteriormente, consumo de produtos químicos (incluindo corantes e produtos auxiliares) nesta etapa é de 0,43 kg/kg fio.

Tendo em conta todas as etapas do processo produtivo, verifica-se que o consumo de produtos químicos malha convencional é 0,436 kg/kg malha enquanto para a malha reciclada é de 0,00177 kg/kg malha (apenas correspondente à parafina usada nos teares), tabela 9.

O impacto ambiental da produção dos produtos químicos utilizados (principalmente na etapa de tingimento de fio) baseou-se em séries de dados disponíveis na base de dados do *ecoinvent*.

Tabela 10 - Dados obtidos a partir da base de dados ecoinvent. para o processo o consumo de produtos químicos

Indicadores/Produto	Unidades	Valor
Consumo de produtos químicos (convencional)	kg/kg _{malha}	0,436
Consumo de produtos químicos (reciclado)	kg/kg _{malha}	0,00177

- **Transporte**

O transporte dos resíduos têxteis para a instalação onde é produzido o algodão reciclado (Recutex) foi também estimado. Foi considerado uma distância de 30 km uma vez que as empresas de recolha de trapos se encontram a essa distância. O impacto do transporte foi determinado utilizando uma série de dados do software GaBi (Sphera) para transporte rodoviário em camião pequeno (7,5 t de carga) a diesel.

Quanto ao transporte da matéria-prima algodão convencional, este já está considerado na série de dados "*Market for fibre, cotton, conventional*".

O transporte dos produtos químicos para as instalações utilizadoras não foi considerado uma vez que não é possível determinar exatamente a sua origem.

4.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A avaliação dos impactos ambientais deste estudo foi concluída utilizando o método ReCiPe 2016 (versão 10.6), com indicadores de categoria de impacto em níveis médios (*midpoint*), abordagem hierarquiada, método esse desenvolvido pelo Instituto Nacional para a Saúde Pública e Ambiente dos Países Baixos, a Universidade Radboud Nijmegen, a Universidade de Leiden e a PRé Sustainability. Este método permite a conversão de emissões de substâncias perigosas e extrações de recursos naturais, em indicadores de categoria de impacto.

Dentro das várias categorias de impacto do método ReCiPe, as selecionadas para este estudo foram: alteração climática (*kg CO₂ eq.*), acidificação (*kg SO₂ eq.*), eutrofização (*kg P eq.*), depleção fóssil (*kg oil eq.*), toxicidade humana, ecotoxicidade aquática e terrestre (*kg 1,4 – DB eq.*). Estas categorias foram consideradas por serem comumente utilizadas em estudos de ACV têxteis e por serem de elevada relevância para os objetivos do estudo. Em cada categoria foram analisadas as proporções de impacto em relação à matéria-prima (produção de algodão convencional ou algodão reciclado), energia elétrica para o processo, transporte e produtos químicos utilizados.

Seguidamente serão apresentados os recursos e emissões existentes durante o processo produtivo de ambos os produtos, a título comparativo para cada um dos processos. Tanto uso e consumo de água, como o consumo de energia, foram analisados ao pormenor, uma vez que são os recursos com maior percentagem.

Para além disso, serão também apresentadas as categorias de impacto ambiental analisadas ao pormenor, bem como os gráficos respetivos, com o intuito de se perceber o processo que mais promove a categoria de impacto respetiva.

4.3.1 Recursos e emissões

Na tabela 10, estão apresentados os principais recursos e emissões para o ambiente que representam a produção de cada um dos produtos (malha convencional e malha reciclada) durante o ciclo de vida definido – desde a origem até à malha acabada.

Tendo em consideração os recursos e emissões, fez-se um diagrama distributivo, em percentagem, para cada um dos produtos (malha convencional e malha reciclada), que estão apresentados nos anexos 1 e 2.

Tabela 11 - Consumos e emissões específicas para os dois produtos em estudo – malha convencional e malha reciclada

	Convencional	Reciclada	Varição (Reciclada – Convencional)
Consumo de recursos e emissões por 100kg de malha acabada			
Consumo de energia primária (kWh)	4791,07	2947,56	-38,48%
Consumo de energia primária – não renovável (kWh)	2806,97	1550,15	-44,78%
Consumo de energia primária – renovável (kWh)	1984,10	1397,41	-29,57%
Utilização de água doce (kg)	2593193,30	1567993,86	-39,53%
Consumo de água doce (kg)	531491,60	211152,52	-60,27%
Resíduos e solo sobrecarregado (kg)	240,63	286,08	18,89%
Emissões para a água doce (kg)	2060037,56	1354719,88	-34,24%
Emissões para o ar (kg)	14589,54	11768,38	-19,34%

Como se pode verificar pela tabela 10, todos os consumos e emissões apresentadas são inferiores para a malha reciclada quando comparada com a malha convencional, com a exceção da produção de resíduos ao longo do ciclo de vida. Os dados obtidos para a malha reciclada contemplam a mistura 60/40.

Os solos sobrecarregados e resíduos produzidos ao longo do ciclo de vida, para além de se referirem aos resíduos não reaproveitados associados ao processo produtivo das empresas, destacam-se pelos “resíduos” associados à produção de eletricidade consumida nas etapas do processo produtivo. Verifica-se que esse valor é aproximadamente 19% superior para a malha reciclada, devido à etapa de produção da fibra do algodão reciclado, na Recutex. Nesta etapa é utilizada uma grande quantidade de energia elétrica. Energia essa que, por sua vez, provoca mais *overburden* (solo remexido/sobrecarregado). Este tipo de resíduo, produzido em grandes quantidades na indústria mineral, é resultante da extração do carvão utilizado, neste caso, para a produção de energia elétrica.

As emissões para a água doce são cerca de 34% inferiores para a malha reciclada, uma vez que esta não sofre o processo de tingimento, que pode libertar produtos químicos para os efluentes. Para além disso, a malha reciclada possui uma menor percentagem de algodão convencional na sua composição, o que diminui os impactos dessas emissões na fase do cultivo.

Quanto às emissões para o ar, estas são aproximadamente 19% superiores para a malha convencional, isto deve-se essencialmente à etapa do cultivo devido à extração do gás natural para a produção de energia térmica utilizada na maquinaria, que liberta muitos gases prejudiciais para o ar.

Ainda dos valores apresentados, salientam-se o consumo de energia primária e o consumo de água doce, que serão analisados em detalhe nos tópicos seguintes.

Energia primária

A energia primária corresponde a toda a energia que pode ser encontrada na natureza, mas que ainda não foi convertida ou transformada, podendo ser utilizada para produzir outros tipos de energia. A energia primária pode dividir-se em renovável ou não renovável (Saldo Positivo, 2022).

O consumo de recursos energéticos *cradle-to-gate* da malha reciclada (RFive) é cerca de 38% inferior ao da malha convencional, sendo que a principal diferença se encontra na produção de matéria-prima do algodão convencional, tal como se pode verificar pela figura 29. Isto deve-se ao facto que no cultivo e colheita da fibra de algodão é utilizada uma quantidade superior de energia do que no processo de produção da matéria-prima. No caso da malha reciclada, os 60% de matéria-prima são trapo proveniente de resíduos têxteis que não têm qualquer impacto ambiental, e 40% da produção de algodão convencional.

Para além da diminuição significativa do consumo de energia primária para o processo produtivo da malha reciclada, o consumo associado à produção de produtos químicos também é bastante inferior para a malha RFive.

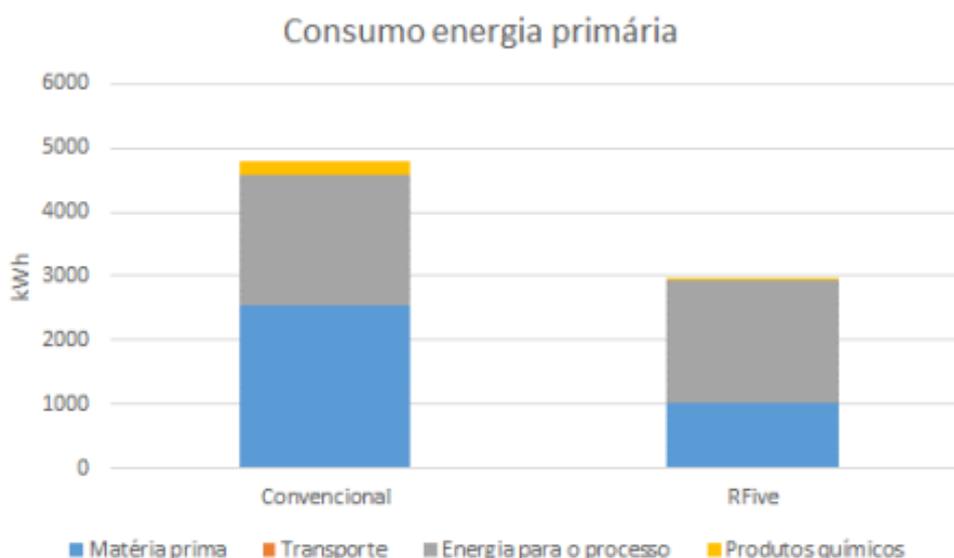


Figura 29 - Distribuição do consumo de energia primária para cada um dos produtos, distribuído por: matéria-prima, transporte, energia para o processo e produtos químicos, acervo do autor

Dividindo o consumo de energia primária em renovável e não renovável, verifica-se que o consumo de energia primária renovável é cerca de 30% inferior para a malha reciclada, e quanto ao consumo de energia primária não renovável é aproximadamente 45% inferior também para a malha reciclada, tal como se verifica na figura 30. Isto acontece porque, para além de os recursos não renováveis causarem um impacto negativo superior para o meio ambiente, são utilizados em maior quantidade considerando a energia térmica utilizada na fase de cultivo e tingimento do fio.

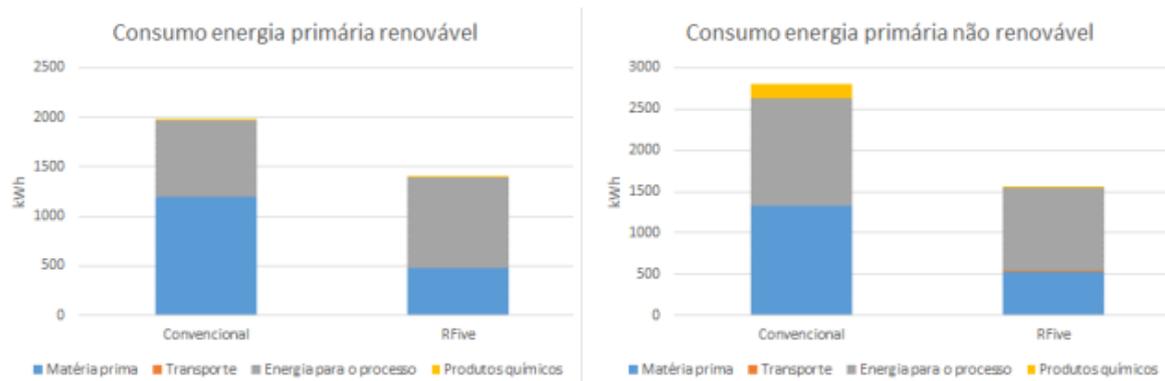


Figura 30 - Distribuição do consumo de energia primária renovável e não renovável, para cada um dos produtos, acervo do autor

Ainda pelo gráfico pode verificar-se que a produção de produtos químicos tem um maior impacto no consumo de energia primária não renovável, comparando com o consumo de energia primária renovável (na malha convencional). Isto é devido ao facto de a produção de produtos químicos consumir maior quantidade de recursos não renováveis, uma vez que a sua produção é bastante consumidora de energia térmica, que aos dias de hoje é produzida essencialmente através de recursos não renováveis.

Água doce

No que diz respeito à água doce, primeiramente é importante diferenciar a utilização de água e o consumo de água. A utilização de água refere-se à totalidade de água que é retirada da sua fonte natural para uso (incluindo, por exemplo, a água utilizada nas barragens para a produção de energia elétrica, ou a água de arrefecimento das centrais elétricas). Enquanto o consumo de água trata-se da parte da água utilizada que não retorna à sua fonte natural após a utilização, como por exemplo a água que é consumida num determinado processo produtivo que terá de ser enviada para uma estação de tratamento antes de retornar ao seu ponto de origem, outro exemplo é a água utilizada para rega.

Na figura 31 está apresentada a distribuição da **utilização de água** para cada uma das malhas. Pode verificar-se que é superior para a malha convencional do que para a malha reciclada, em 39%. Grande parte desta água é utilizada na produção de energia para o processo produtivo, uma vez que toda a água utilizada é contabilizada, incluindo a água do arrefecimento das centrais elétricas e a água utilizada nas barragens para fazer girar as turbinas. Posto isto, grande parte é também utilizada na produção de matéria-prima do algodão convencional, visto que são utilizadas grandes quantidades de água na produção da energia das máquinas utilizadas.

Em menor destaque, a água doce é utilizada na produção dos produtos químicos, assim como diretamente no processo produtivo na fase do tingimento do fio. Isto acontece porque o consumo de água está diretamente relacionado com a utilização de água.

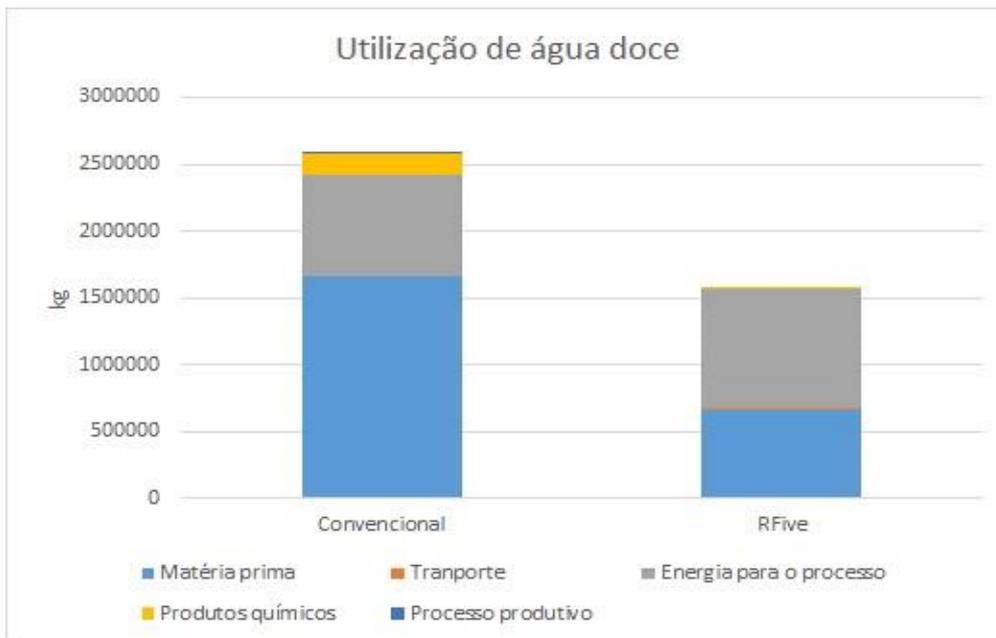


Figura 31 - Distribuição da utilização de água para cada um dos produtos, distribuído por: matéria-prima, transporte, energia para o processo e produtos químicos, acervo do autor

Na figura 32 pode verificar-se o **consumo de água** para os dois produtos analisados. O consumo de água ao longo do ciclo de vida é aproximadamente 60% inferior para a malha reciclada do que para a malha convencional. Esta considerável diferença deve-se, em grande parte, ao consumo de água na produção de algodão convencional, uma vez que são consumidas grandes quantidades de água nas plantações de algodão. Como a quantidade de algodão convencional na malha reciclada (40%) é bastante inferior à da malha convencional (100%), o consumo de água para a malha reciclada é também notoriamente inferior.

Para além disso, como a malha convencional tem no seu processo produtivo a etapa de tingimento de fio (que a malha reciclada não tem), acaba por contribuir para a diferença nos consumos de água doce.

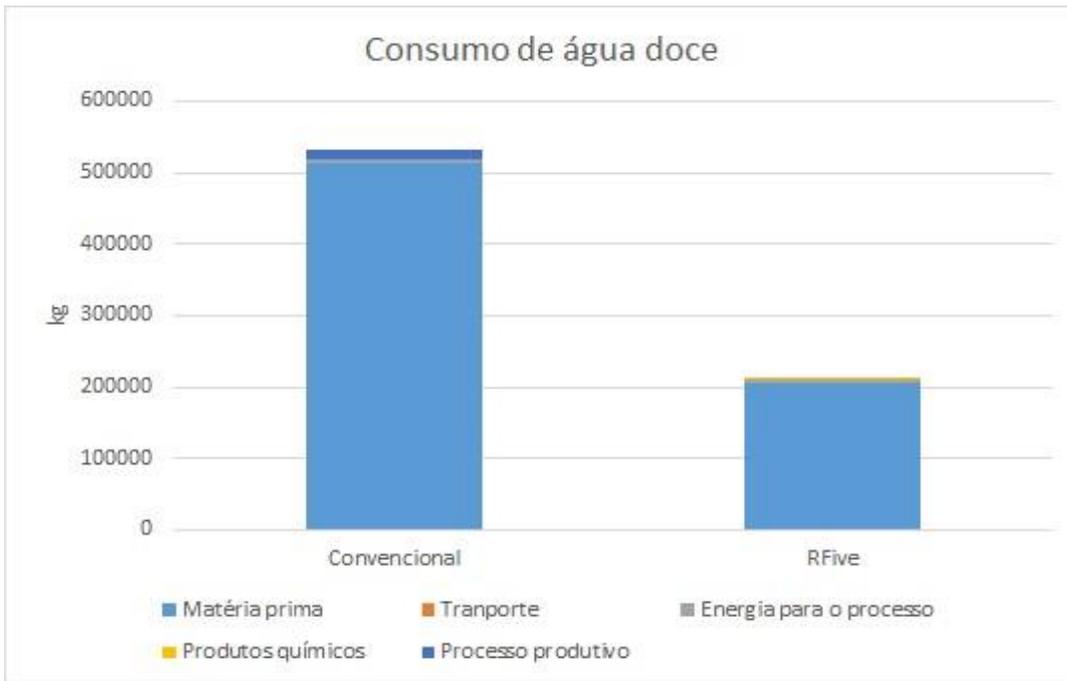


Figura 32 - Distribuição da consumo de água para cada um dos produtos, distribuído por: matéria-prima, transporte, energia para o processo e produtos químicos, acervo do autor

4.3.2 Categorias de impacto ambiental

Seguidamente à apresentação dos recursos e emissões, realizou-se um diagrama distributivo, em percentagem, tendo em consideração as categorias de impacto ambiental para as duas malhas em análise, tal como se pode verificar nos anexos 3 e 4.

Na tabela 12 pode verificar-se os resultados obtidos das categorias de impacto ambiental analisadas e a comparação entre eles para os dois produtos (malha convencional e malha reciclada). Nos tópicos seguintes serão abordadas as oito categorias de impacto ambiental em detalhe.

Tabela 12 - Resultados das diferentes categorias de impacto ambiental para os dois produtos em análise, seguindo a metodologia ReCiPe 2016 midpoint (H)

	Convencional	Reciclada	Varição (Reciclada – Convencional)
Categorias de impacto ambiental por 100kg de produto			
Alterações Climáticas, excl. carbono biogénico [kg CO2 eq]	870,20	484,72	-44,30%
Alterações Climáticas, incl. carbono biogénico [kg CO2 eq]	511,57	340,95	-33,35%
Depleção Fóssil [kg oil eq.]	236,40	130,18	-44,93%
Ecotoxicidade Aquática [kg 1,4 DB eq.]	51,14	19,36	-62,14%
Eutrofização [kg P eq.]	0,49	0,19	-61,18%
Toxicidade Humana [kg 1,4-DB eq.]	988,32	372,23	-62,34%
Acidificação [kg SO2 eq.]	7,32	3,02	-58,79%
Ecotoxicidade Terrestre [kg 1,4-DB eq.]	1144,07	434,63	-62,01%

Alterações climáticas (*Climate change*)

O *Climate Change* está entre as mais relevantes categorias de impacto ambiental consideradas nos estudos de avaliação do ciclo de vida, visto que os seus impactos são sentidos de forma quase diária no seu quotidiano. Tal como mencionado anteriormente, os resultados obtidos desta categoria são obtidos convertendo todos os gases de efeito de estufa emitidos para a atmosfera, em dióxido de carbono. Pode verificar-se pela tabela acima apresentada que as alterações climáticas são 44% superiores com a produção da malha convencional, em comparação com a malha reciclada.

De notar que esta categoria de impacto pode considerar ou não o carbono biogénico. O carbono biogénico é o carbono armazenado nos materiais biológicos (tais como as plantas e, neste caso em específico, o algodão) que, através do processo de fotossíntese, ao capturarem o dióxido de carbono existente na atmosfera, contribuem para a sua diminuição na atmosfera.

As alterações climáticas, ao incluir o carbono biogénico, são cerca de 33% inferiores para a malha reciclada. Grande parte desta alteração climática provém da produção de energia para o processo. Um exemplo disso é a extração e queima de combustíveis fósseis que causa grandes impactos ambientais, uma vez que a poluição gerada pela sua queima, colabora com o aquecimento global. Os impactos da produção de energia para o processo são inferiores para a malha reciclada (barra cinzenta do gráfico) porque esta utiliza menos energia térmica (proveniente dos combustíveis fósseis) e, embora utilize mais energia elétrica, grande parte desta energia é produzida de fontes renováveis.

A produção de produtos químicos também tem impacto no *climate change* devido ao consumo de energia associada à sua produção. Por fim, na produção de matéria-prima do algodão convencional é considerada a energia térmica (combustível) utilizada na maquinaria.

Na figura 33 está apresentada a distribuição dos valores desta categoria, incluindo o carbono biogénico, para as duas malhas estudadas.

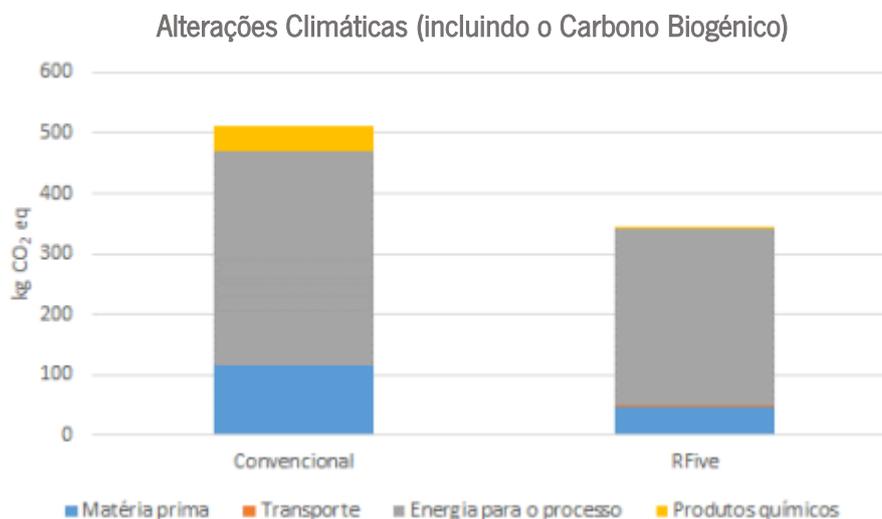


Figura 33 - Distribuição da categoria Alterações Climáticas, incluindo o carbono biogénico, para cada um dos produtos, acervo do autor

No entanto, ao excluir o carbono biogénico, as alterações climáticas são 44% inferiores para a malha reciclada e, na figura 34, pode verificar-se que, em comparação com o gráfico anterior, a grande diferença está na produção da matéria-prima do algodão convencional.

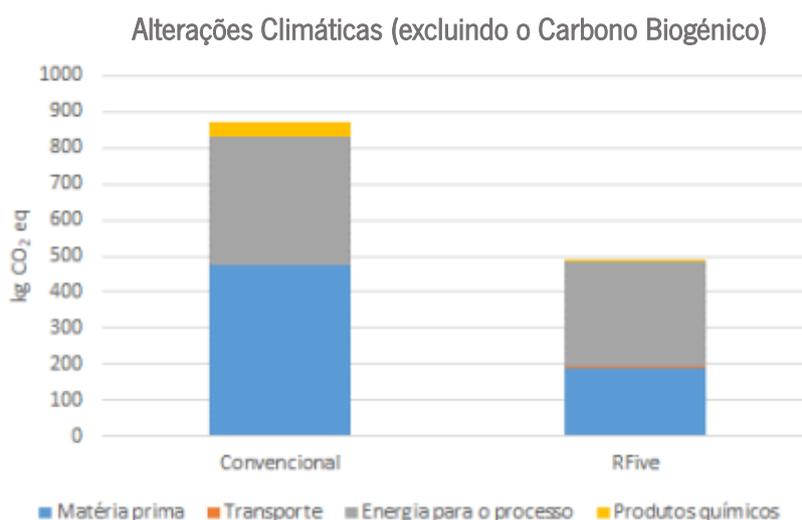


Figura 34 - Distribuição dos valores da categoria Alterações Climáticas, excluindo o carbono biogénico, para cada um dos produtos, acervo do autor

Através dos gráficos obtidos é possível realizar-se uma comparação entre os dois produtos. Verifica-se então que a malha convencional apresenta valores superiores para esta categoria, incluindo ou não o carbono biogénico. Quando se inclui o carbono biogénico, a diferença entre os dois produtos é menor, uma vez que aumenta a quantidade de carbono biogénico logo a quantidade de dióxido de carbono diminui na atmosfera. Assim, como a malha convencional tem mais quantidade de algodão convencional, logo mais quantidade de carbono biogénico, a diferença entre os dois produtos é menor. Ao se excluir o carbono biogénico, verifica-se então o efeito oposto.

Acidificação (*Terrestrial Acidification*)

A *terrestrial acidification* ou a acidificação deve-se à deposição de substâncias no ar, água e solo que podem causar o fenómeno das chuvas ácidas. É também uma das categorias de impacto mais importantes e normalmente estudadas.

Para os produtos em estudo (malha convencional e malha RFive), a acidificação é aproximadamente 59% superior na malha convencional. Isto deve-se porque a acidificação é relativa fundamentalmente à produção da matéria-prima do algodão convencional, devido às emissões para o solo associadas aos pesticidas utilizados, pelo que é bastante superior na malha convencional. Na produção da matéria-prima do algodão convencional está também introduzido o impacto do transporte, tanto de barco como de camião. Através da figura 35 pode verificar-se a distribuição dos valores desta categoria.

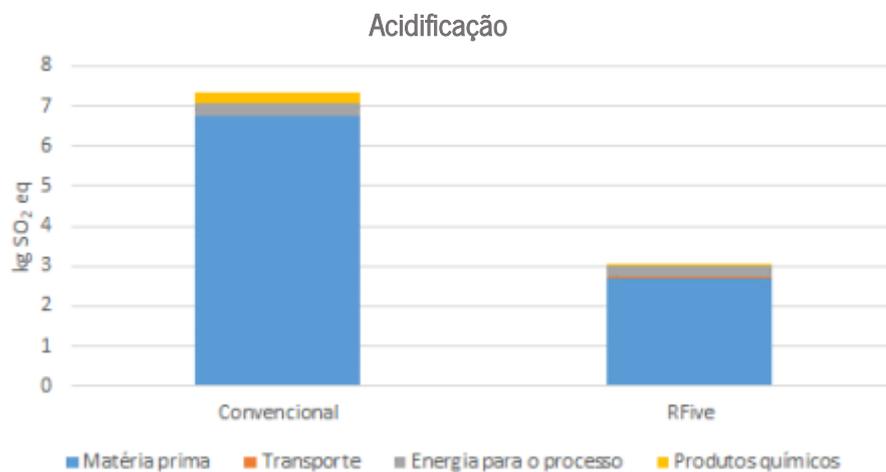


Figura 35 - Distribuição da categoria Acidificação para cada um dos processos, acervo do autor

Esta categoria de impacto também é notada na produção de energia para o processo devido à utilização de combustíveis fósseis que, na sua combustão, libertam substâncias que impactam na acidificação (nomeadamente o dióxido de enxofre – SO_2). E nos produtos químicos que acontece também a combustão dos combustíveis fósseis para a produção dos mesmos.

Eutrofização (*Freshwater Eutrophication*)

A eutrofização reflete os efeitos de nitrificação, resultantes da adição de nutrientes ao solo que acabarão por contaminar os reservatórios de água doce.

Tal como se pode verificar pela figura 36 abaixo apresentada, a principal causa de eutrofização no dois sistemas de produto é, claramente, a produção da matéria-prima de algodão convencional, sendo esta cerca de 61% superior para a malha convencional. Segundo (Textile Exchange, 2014) as principais causas de eutrofização relacionadas com o cultivo de algodão são as emissões de nutrientes para o terreno agrícola e também a maquinaria utilizada. Comparando os dois produtos verifica-se que os valores obtidos são muito superiores para a malha convencional devido à maior quantidade presente na malha de algodão convencional.

Também se pode observar que a categoria eutrofização também está relacionada com a utilização de produtos químicos, devido às cargas poluentes geradas nas águas residuais na produção dos produtos químicos, porém numa escala muito menor comparada à produção da matéria-prima de algodão convencional.

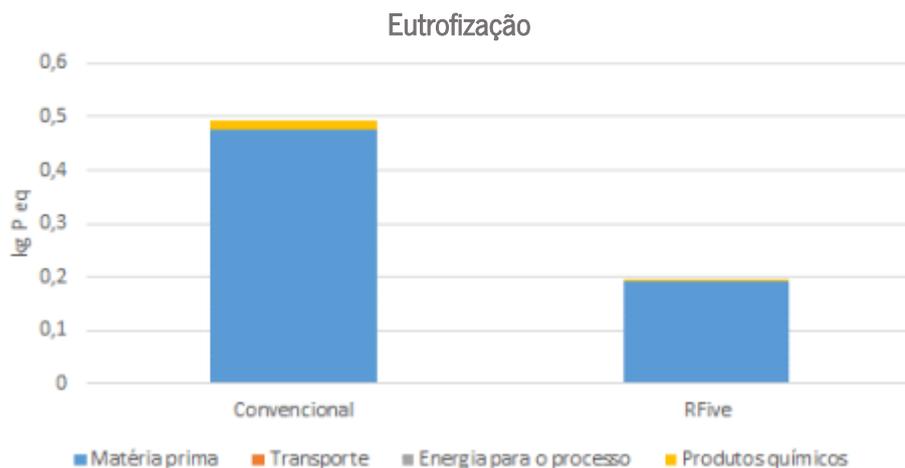


Figura 36 - Distribuição da eutrofização para cada um dos produtos, acervo do autor

Depleção fóssil (*Fossil depletion*)

A *fossil depletion* é um indicador do consumo de recursos não renováveis, como por exemplo, os combustíveis fósseis.

Como se pode verificar pela figura 37, o produto malha RFive apresenta um valor inferior em aproximadamente 45%, devido ao menor consumo de algodão convencional e produtos químicos. Em sentido contrário, o maior consumo de eletricidade da malha reciclada atenua a diferença entre os dois produtos para esta categoria de impacto ambiental.

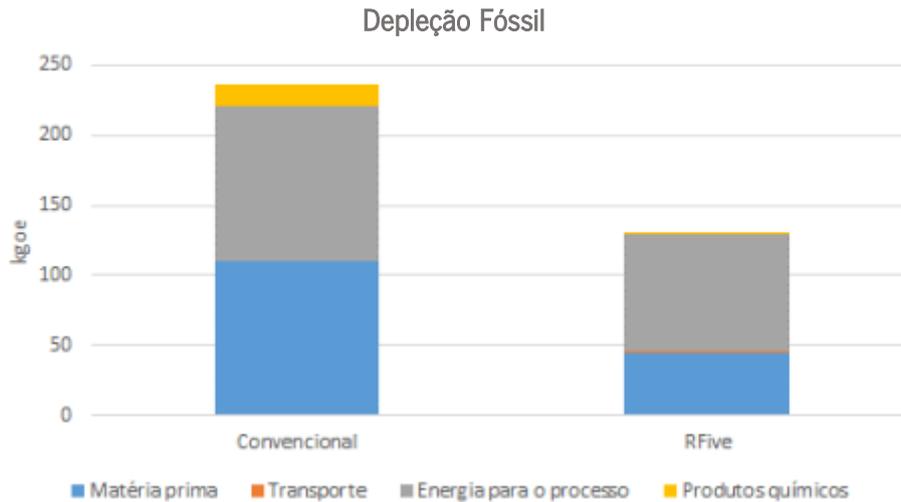


Figura 37 - Distribuição depleção fóssil para cada um dos produtos, acervo do autor

Toxicidade humana, ecotoxicidade aquática e ecotoxicidade terrestre (*Human Toxicity, Freshwater ecotoxicity e Terrestrial ecotoxicity*)

Estas três categorias de impacto ambiental têm como base o efeito das substâncias tóxicas nos seres humanos, no ecossistema aquático e no ecossistema terrestre. Para a sua determinação, são contabilizadas todas as substâncias tóxicas libertadas para o meio ambiente.

As figuras abaixo apresentadas mostram a comparação dos valores das categorias de impacto relacionadas com a toxicidade para os dois produtos estudados. De notar que a figura 38 refere-se à toxicidade humana, a figura 39 à toxicidade no ecossistema aquático e a figura 40 à toxicidade no ecossistema terrestre.

Relativamente aos valores obtidos nas categorias de ecotoxicidade, verifica-se que a maior percentagem é devido à matéria-prima de algodão convencional. De acordo com (Textile Exchange, 2014), a toxicidade associada à produção de algodão convencional está, não só relacionada com a utilização de pesticidas, mas também com a erosão do solo associada às práticas agrícolas. Estas provocam a deposição dos metais existentes no solo contaminando os cursos de água.

Comparando os dois produtos, nos três gráficos, denota-se que os valores obtidos são significativamente superiores para a malha convencional. Nos três gráficos apresentados das três categorias de impacto, o valor apresentado é cerca de 62% superior para a malha convencional.

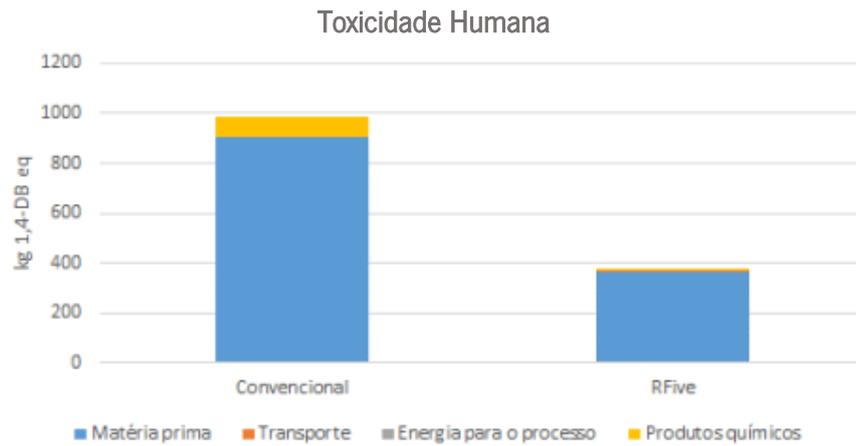


Figura 38 - Toxicidade Humana para cada um dos produtos, acervo do autor

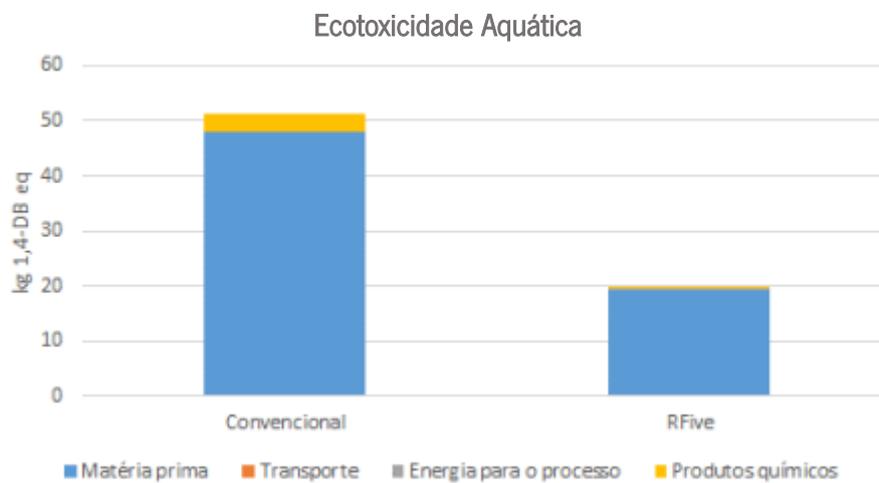


Figura 39 - Ecotoxicidade aquática para cada um dos produtos, acervo do autor

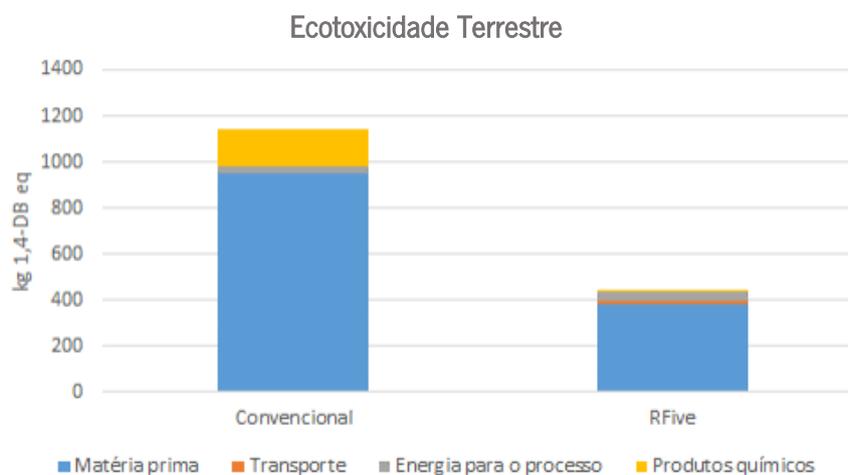


Figura 40 - Ecotoxicidade terrestre para cada um dos produtos, acervo do autor

4.4 Interpretação do Ciclo de Vida

O principal objetivo deste estudo foi realizar uma avaliação do ciclo de vida de dois produtos têxteis: malha composta por 100%CO Convencional (malha convencionada) e malha composta por 60%CO Reciclado/40%CO Convencional (malha reciclada ou RFive), e comparar os resultados obtidos para os dois produtos.

Para a execução deste trabalho, foi seguida uma abordagem *cradle-to-gate* que compreendeu todas as etapas, desde a extração das matérias-primas e recursos necessários à produção dos produtos em causa até à obtenção de malha acabada. Sendo que a unidade funcional selecionada foi 100kg de malha acabada.

Os dados recolhidos durante o inventário do ciclo de vida (ICV) foram, sempre que possível, dados medidos no processo produtivo das instalações em que os produtos são fabricados, pelo que podem ser considerados dados credíveis e de qualidade. Adicionalmente, foram utilizados dados provenientes das bases de dados para ACV mais utilizadas e credíveis – *Sphera* e *ecoinvent*-, para os processos a montante (extração e produção de matérias-primas, produção de eletricidade e combustíveis, produção dos produtos químicos, entre outros) do processo produtivo das empresas, uma vez que não foi possível recolher esses dados diretamente com as empresas.

A avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) foi realizada com o auxílio do *software* GaBi (versão 10.6). Foram analisados os indicadores mais importante de consumos de recursos e emissões geradas e também as seguintes categorias de impacto ambiental do método ReCiPe 2016 midpoint (H): Alterações Climáticas, Acidificação, Eutrofização, Depleção Fóssil, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Terrestre e Aquática.

Os principais resultados deste estudo são apresentados no ponto 5 desta dissertação – Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)– e da sua análise, pode concluir-se o seguinte:

- A malha reciclada apresenta menores impactos ambientais que a malha convencional.
- Relativamente aos indicadores de consumos de recursos e emissões geradas, todos eles apresentam valores mais baixos para a malha reciclada, nomeadamente o consumo de energia e água ao longo do ciclo de vida. Exceto os resíduos e solo sobrecarregado, uma vez que a malha reciclada utiliza mais eletricidade visto que todo o processo de produção da fibra de algodão reciclado é mecânico.
- No que diz respeito às categorias de impacto, todas apresentam valores mais baixos para a malha reciclada.
- Para os dois produtos em estudo, as fases do ciclo de vida com maior peso nos indicadores de consumo de recursos e emissões e nas categorias de impacto ambiental são a produção da matéria-prima algodão convencional e a produção de energia durante o processo produtivo (Anexo 3 e 4).

Para baixar ainda mais o impacto ambiental da malha reciclada, o objetivo deve centrar-se principalmente em reduzir a utilização de algodão convencional e, também, reduzir o consumo de energia elétrica associada principalmente aos processos de produção do algodão reciclado e fiação.

As limitações associadas ao estudo foram que nem sempre foi possível realizar a recolha de dados durante o período desejado, produzir malha na cor pretendida e também a recolha de dados em tempo real para dar mais fiabilidade aos dados.

5 Ensaio Laboratoriais

A fim de se comparar as malhas em análise, malha 100%CO Convencional e malha 60%CO Reciclado Pré-consumo 40%CO Convencional, realizaram-se diversos ensaios de caracterização básica de cada fio e testes de caracterização básica de ambas as malhas.

De notar que nos ensaios realizados considerou-se “malha convencional” para “malha 100%CO convencional” e “malha reciclada” para “malha 60%CO reciclado 40%CO convencional”, a fim de se abreviar a designação.

5.1 Caraterização Básica dos Fios

5.1.1 Massa linear e Massa por unidade de superfície

Tanto o valor da massa por unidade de superfície como o da massa linear, foram dados fornecidos pela empresa Lurdes Sampaio, ou seja, os dados já se encontravam especificados. Estes estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Dados da massa linear e massa por unidade de superfície das malhas em estudo

	Malha 100%CO Convencional	Malha Reciclada
Massa por unidade de superfície (g/m ²)	150	145
Massa linear (Ne)	20	20

5.1.2 Determinação da Contextura (NP EN 1049-2:1995)

Seguindo a norma NP EN 1049-2:1995, foi determinada a contextura de ambas as malhas à teia e à trama, sendo que a contextura é o número de fios por centímetro. Para a execução deste ensaio, realizaram-se 3 medições, com 1 cm à teia e 1 cm à trama, com a ajuda de uma lupa.

Na figura 41, está apresentada a determinação da contextura, através de uma lupa, e na tabela 14 estão apresentados os resultados obtidos e a média dos mesmos para ambas as malhas.

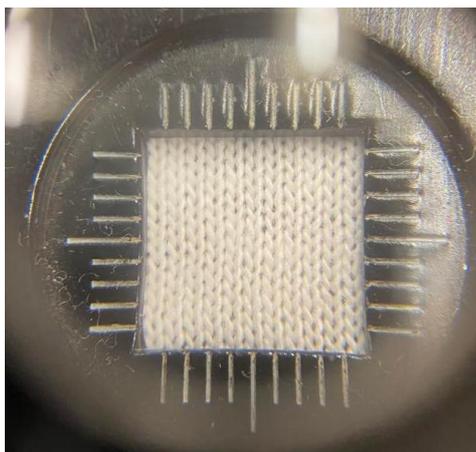


Figura 41 - Determinação da textura – lupa (malha convencional), acervo do autor

Tabela 14 - Resultados obtidos para a textura da malha convencional, acervo do autor

Nº de ensaios	Malha Convencional		Malha Reciclada	
	Fileiras	Colunas	Fileiras	Colunas
1	14	20	16	18
2	14	20	16	18
3	14	20	16	18
Média	14 ± 0	20 ± 0	16 ± 0	18 ± 0

Pode-se concluir que a malha 100%CO convencional tem uma média de 20 colunas e 14 fileiras e malha 60%CO reciclado 40%CO convencional tem uma média de 18 colunas e 16 fileiras.

5.1.3 Determinação da Espessura (NP EN 5084: 1999)

Neste ensaio foram realizadas 10 medições para cada estrutura, sendo o resultado presente na tabela 15, a média de todos os valores.

Este ensaio tem como objetivo determinar o valor da espessura das duas malhas em análise, quando submetidos a uma pressão específica, segundo a norma NP EN 5084: 1999. A espessura é a distância perpendicular entre duas placas de referência que exercem uma pressão de 1kPa sobre o têxtil.

Tabela 15 - Resultados obtidos na espessura, acervo do autor

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Espessura (mm)	0,508	0,482

5.1.4 Determinação do debuxo (NP 4114)

O jersey é a estrutura presente nas duas malhas em estudo (convencional e reciclada), sendo que é a estrutura mais simples e económica de produzir, sendo geralmente concebida em teares circulares e numa única fileira de cames. Para a formação desta estrutura, todas as agulhas sobem para formar laçadas normais em todas as fileiras. Na figura 42 está apresentado o modo de como os fios estão entrelaçados (CEP).



Figura 42 - Debuxo das malhas em estudo, acervo do autor

5.1.5 Comprimento da laçada (NP 4105)

Segundo a norma NP 4105, foi determinado o comprimento da laçada. Para tal, retiram-se 10 fios de cada malha, contando-se 100 colunas em cada fio (número de laçadas). No aparelho chamado *crimp-tester*, aplicou-se uma tensão de 1+4gf. Seguidamente prendeu-se as extremidades do fio nas pinças e deixou-se deslizar sobre os carris. Com a régua vê-se o valor e repete-se até obter 10 medições. No Anexo 5, estão presentes os valores dos 10 ensaios realizados a cada malha.

O comprimento da laçada (Lu) deve ser calculado pela fórmula abaixo apresentada:

$$Lu = \frac{\text{Comprimento do fio}}{\text{Número de laçadas}}$$

Na tabela 16 estão apresentados os comprimentos de laçada da malha convencional e da malha reciclada.

Tabela 16 - Comprimento de laçada (lu) das malhas em estudo

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Comprimento de laçada (lu) – cm	0,34	0,34
Desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV)	0,002 0,6%	0,004 1,2%

Através dos resultados obtidos verifica-se que ambos os fios têm o mesmo comprimento de laçada.

5.1.6 Grau de Aperto

O grau de aperto define-se como a razão entre a área de malha coberta pelo fio e a área total da malha. Esta característica condiciona alguns fatores, mas o principal, neste caso, é a porosidade da malha. Deste modo, é importante conhecer o grau de aperto com o intuito de se perceber se as estruturas são abertas ou fechadas. Posto isto, é possível determinar o grau de aperto pela equação apresentada abaixo:

$$K = \frac{\sqrt{tex}}{lu} \times nt$$

Sendo que:

- K – grau de aperto;
- tex – massa linear;
- nt – número de agulhas na célula estrutural (CEP);
- Lu – comprimento da laçada da célula estrutural.

De notar que um grau de aperto considerado padrão possui um valor de 15. Abaixo deste valor considera-se que a estrutura em análise é aberta e acima de 15 é fechada.

Na tabela 17 apresentam-se os resultados de grau de aperto para ambas as malhas em análise.

Tabela 17 - Resultados do grau de aperto para as malhas em estudo

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Grau de aperto	9,26	9,36

Considerando os resultados obtidos, considera-se que, tanto a malha convencional com a reciclada, são consideradas malhas abertas.

5.1.7 Torção do fio (voltas por metro) (NP 4104-1991)

Este ensaio determina a torção de um fio, que consiste no número de voltas por unidade de comprimento do fio (voltas por metro). Para a obtenção desses resultados utilizou-se um torsiómetro (figura 43), seguindo-se a norma NP 4104-1991.



Figura 43 - Torciómetro – aparelho utilizado, Universidade do Minho

O torciómetro dá as voltas por metro do fio em análise. Foram realizados 10 ensaios para cada amostra, sendo que a média está apresentada na tabela 18 e 19.

Tabela 18 - Média do valor de voltas por metro

Nº do ensaio	Voltas/metro	
	Malha Convencional	Malha Reciclada
1	697	864
2	766	890
3	693	833
4	726	812
5	781	831
6	739	918
7	725	809
8	770	791
9	726	799
10	741	790

Tabela 19 - Continuação da Tabela 18

Média	736,4	833,7
Desvio padrão e coeficiente de variação	29 3,9%	44 5,3%

Tendo em consideração a fórmula do coeficiente de torção (α) abaixo apresentada, converteu-se a média do valor das voltas/m para voltas/polegada, tendo em consideração que 1 polegada corresponde a 0,0254m. Posto isto, os resultados obtidos estão apresentados na tabela 20.

$$\alpha = \frac{\text{voltas/polegada}}{\sqrt{Ne}}$$

Tabela 20 - Torção do fio de ambas as amostras

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Voltas/polegada	18,70	21,18
Coefficiente de torção (α)	4,2	4,7

Através dos resultados obtidos verifica-se que a malha reciclada apresenta maior torção que a malha convencional. Isto pode dever-se ao facto que, para se obter um fio reciclado mais resistente, foi necessário aumentar as voltas por metro e, conseqüentemente, a torção.

5.2 Caracterização Básica das Malhas

5.2.1 Determinação da Resistência à formação de borboto pelo método do Martindale (ASTM D 4970-89:Data)

O ensaio de resistência à formação de borboto tem como objetivo verificar a quantidade de borboto formada após 5000 ciclos, seguindo a norma ASTM D 4970-89. Preparou-se quatro amostras circulares, colocando-se na máquina de teste Martindale, onde são friccionadas contra a superfície até perfazer os 5000 ciclos. A cada 1000 ciclos completos interrompe-se o procedimento para se comparar os resultados com os padrões e no final atribui-se a cada amostra o respetivo grau, sendo que “1” corresponde a formação de borboto muito severo ou muito severa alteração da superfície e “5” corresponde a uma amostra sem formação de borboto ou sem alteração da superfície. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na tabela 21, abaixo apresentada.

Tabela 21 - Resultados obtidos do ensaio da resistência à formação de borboto para as malhas em estudo

Ciclos \ Malha	Malha Convencional	Malha Reciclada
1000	1	3
2000	1	3
3000	1	3
4000	1	4
5000	1	4

O borboto formado na malha reciclada a partir dos 4000 ciclos desapareceu parcialmente, tal como apresentado na figura 44, tendo-se obtido um grau 4. De realçar que para uma peça de vestuário o borboto inicial (grau 3) pode não ser muito favorável visualmente, uma vez que, à partida, o consumidor não espera que o borboto desapareça. No entanto, a malha reciclada possui melhor valor que a convencional. Quanto à malha convencional, logo após os primeiros 1000 ciclos a malha apresentou uma muito severa alteração da superfície, atribuindo-se grau 1 até ao fim dos 5000 ciclos (figura 45).



Figura 44 - Resultados obtidos do ensaio da resistência à formação de borboto após 5000 ciclos para a malha 60%CO reciclado 40%CO convencional, acervo do autor

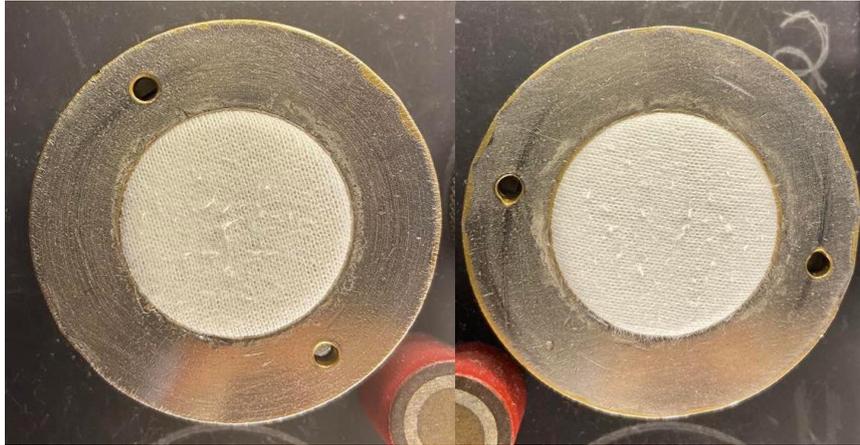


Figura 45 - Resultados obtidos do ensaio da resistência à formação de borboto após 5000 ciclos para a malha 100%CO convencional, acervo do autor

5.2.2 Determinação do Coeficiente de atrito cinético (Procedimento Interno)

O ensaio de coeficiente de atrito cinético tem como objetivo avaliar a qualidade e aplicabilidade dos materiais, sendo que o coeficiente de atrito cinético é um dos principais indicadores para a avaliação objetiva de um conceito vulgarmente conhecido como toque. Uma vez que uma t-shirt está em constante contacto com a pele é necessário perceber se a malha é confortável o suficiente de modo a não provocar atrito entre a pele e a t-shirt.

Foram realizados 5 ensaios para cada malha no aparelho Frictorq-01, apresentado na figura 46. Para a realização deste ensaio, a amostra é colocada no aparelho com o direito do malha voltada para cima. Este ensaio é seguido por um procedimento interno, obtendo-se dados e gráficos resultantes num computador, gráficos esses apresentados no Anexo 6 para a malha convencional e no Anexo 7 para a malha reciclada.



Figura 46 - Frictorq-01 – equipamento de medição, Universidade do Minho

Um valor de atrito cinético mais elevado implicará uma maior sensação de desconforto na aplicação final, ou seja, quanto menor for este valor, melhor será o toque da amostra em análise. Os valores obtidos estão apresentados na tabela 22, abaixo apresentada.

Tabela 22 - Resultados obtidos no coeficiente de atrito cinético para as malhas em estudo

Nº do ensaio	Malha Convencional		Malha Reciclada	
	Atrito Cinético	Atrito Máximo	Atrito Cinético	Atrito Máximo
1	0,2076	0,2574	0,2002	0,2438
2	0,2187	0,2587	0,1958	0,2376
3	0,2319	0,2641	0,2019	0,25
4	0,2277	0,2618	0,1984	0,2475
5	0,2257	0,2636	0,1984	0,2556
Média	0,2223	0,2611	0,1989	0,2469
Desvio padrão e coeficiente de variação	0,01 4,5%	0,003 1,15%	0,002 1%	0,007 2,8%

Através dos resultados obtidos pode verificar-se que a malha convencional apresenta um valor de atrito cinético de 0,2223 e a malha reciclada de 0,1989, o que se conclui que a malha reciclada apresenta melhor toque e conforto.

5.2.3 Determinação da Resistência ao rebenamento (NP EN ISO 13938-1)

Este ensaio permite determinar a força e o alongamento à rotura em KPa e mm, respetivamente, e foi seguido utilizando a norma NP EN ISO 13938-1. Foram realizados 12 ensaios para cada malha num eclatómetro, apresentado na figura 47. Através do ensaio à resistência ao rebenamento é possível determinar a que pressão é que as malhas rasgam multidirecionalmente, de modo a simular o seu uso.



Figura 47 - Eclatómetro – Burst Tester, Universidade do Minho

A média dos valores obtidos encontra-se na tabela 23 abaixo apresentada.

Tabela 23 - Resultados obtidos na resistência ao rebentamento

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Pressão exercida (KPa)	544,51	334,24
Alongamento à rotura (mm)	10,739	9,677

Através dos resultados obtidos pode verificar-se que a malha convencional apresenta um alongamento à rotura de aproximadamente 11mm para uma pressão média de 544,51 KPa, e a malha reciclada para uma pressão de 334,24 KPa apresenta um alongamento à rotura de 9,677mm. Em percentagem e comparativamente à malha convencional, verifica-se que a malha reciclada é 38,6% inferior ao nível de resistência e 9,89% inferior em alongamento.

Deste modo, pode então concluir-se que é necessário exercer mais pressão na malha convencional do que na reciclada, o que significa que a malha reciclada rasga com mais facilidade. No entanto, é necessário fazer uma força muito elevada, de aproximadamente $334,24 \text{ kg/cm}^2$, para acontecer um rasgo na malha.

5.2.4 Determinação das Propriedades termofisiológicas – Alambeta (11092)

Este teste foi realizado para que se pudessem avaliar as características termofisiológicas de ambas as malhas, para tal foi utilizado o equipamento Alambeta apresentado na figura 48.



Figura 48 - Alambeta - Equipamento utilizado para determinar as propriedades termofisiológicas, Universidade do Minho

O Alambeta simula, de certo modo, a transferência de calor entre uma amostra de material têxtil e a pele humana, desde um contacto inicial, devido a um sensor que mede a temperatura da superfície da amostra.

Através do Alambeta pode-se avaliar diversos parâmetros de uma amostra, tais como (Silva & Souto, 2013):

- **Condutividade térmica λ (10^{-3}) ($Wm^{-1}K$):** é a quantidade de calor que flui pelo material, por unidade de comprimento;
- **Difusividade térmica α (10^{-6}) (m^2/s):** exprime o quão rapidamente um corpo se ajusta à temperatura ao seu redor;
- **Absortividade térmica b ($\frac{Ws1}{2m^2K}$):** representa o fluxo de calor instantâneo que existe entre dois corpos, a diferentes temperaturas, em contacto físico. Quanto maior for o valor de b , maior será o fluxo de calor instantâneo e pior será a sensação de contacto inicial, uma vez que corresponde a uma superfície mais fria;
- **Resistência térmica r (10^{-3}) (m^2KW^{-1}):** apresenta a resistência que um material oferece ao fluxo de calor. É a razão entre a espessura e a condutividade térmica (h/λ);
- **Espessura do material h (mm);**
- **Fluxo de calor q (Wm^{-2}):** expressa a taxa de energia térmica transferida de uma dada superfície. É calculado através da área, espessura e unidade de tempo.

Para este projeto teve-se em consideração apenas 4 dos parâmetros fornecidos pelo Alambeta, sendo eles a condutividade térmica (λ), a difusividade térmica (α), a absortividade térmica (b) e por último a resistência térmica (r) visto que são as mais importantes para a aplicação do produto final (t-shirt).

Foram realizados 5 ensaios para cada amostra, sendo que a média dos resultados obtidos estão apresentados na tabela 24 (no Anexo 8 estão apresentados os valores dos 5 ensaios realizados para cada malha).

Tabela 24 - Resultados obtidos para o ensaio da determinação das propriedades termofisiológicas

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Condutividade térmica - λ	50,2 ± 0,8	51,7 ± 1,07
Difusividade térmica - α	0,185 ± 0,02	0,194 ± 0,03
Absortividade térmica - b	116 ± 6,5	118 ± 7,4
Resistência térmica - r	14,3 ± 0,4	12,3 ± 0,2
Fluxo de calor máximo - q_{max}	0,768 ± 0,01	0,825 ± 0,02

Uma vez que é importante que a malha não retenha o calor expelido pelo corpo humano, teve-se em consideração um maior valor de difusividade térmica assim como a condutividade térmica e, por consequência, baixa resistência térmica e menor valor de absortividade térmica. Posto isto e apesar dos valores serem semelhantes em ambas as malhas, pode concluir-se que, ainda assim, a malha reciclada apresenta melhores resultados em todos os parâmetros em análise, exceto na absortividade térmica.

5.2.5 Permeabilidade ao ar (NP EN ISO 9237:1997)

O teste da permeabilidade ao ar, que seguiu a norma NP EN ISO 9237:1997, foi realizado tanto na malha convencional como na malha reciclada, a fim de se avaliar a respirabilidade. Ou seja, a um dado valor de pressão, registrar a qualidade de fluxo de ar que passa numa área de $20cm^2$ do material têxtil, num dado intervalo de tempo. O resultado exprime a quantidade de litros de ar que passa por metro quadrado e por segundo ($L/m^2/s$).

Para a execução deste ensaio, o equipamento utilizado foi o Textest FX 3300, apresentado na figura 49. Uma vez que a aplicação escolhida é para vestuário, os dez ensaios realizados para cada uma das malhas foram feitos aplicando uma pressão de 100 Pa, caso não fosse para vestuário a pressão teria de ser de 200 Pa. O primeiro passo consistiu em calibrar o equipamento. A escala era ajustada de acordo com a resposta luminosa. Obtiveram-se os valores médios apresentados na tabela 25, assim como o respetivo desvio padrão.



Figura 49 - Textest FX 3300, Universidade do Minho

Tabela 25 - Resultados obtidos na permeabilidade ao ar para as malhas em análise

	Permeabilidade ao ar ($L/m^2/s$)	
	Malha Convencional	Malha Reciclada
Média	1037,1	1246
DP	42	39
CV	4,1%	3,1%

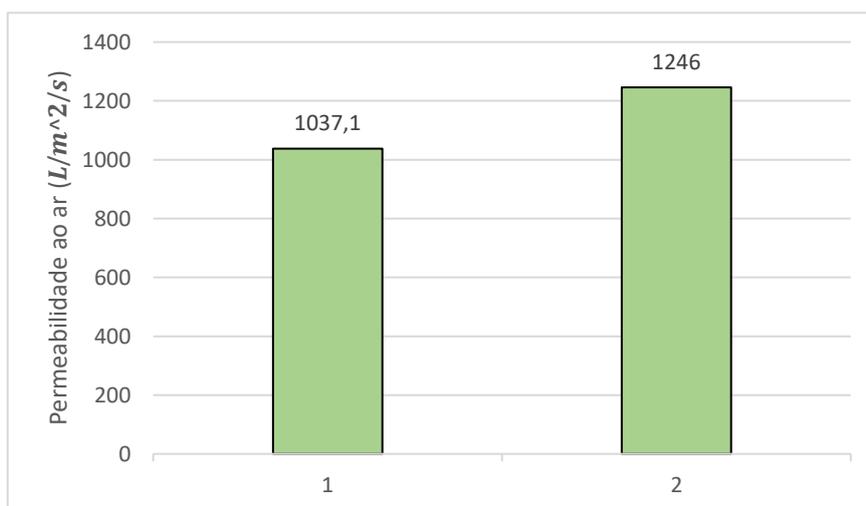


Figura 50 - Valores médios da permeabilidade ao ar para ambas as amostras, acervo do autor

Através dos resultados obtidos na figura 50 pode verificar-se que existe um maior fluxo de ar a atravessar a malha reciclada, o que se conclui que a malha reciclada é mais respirável que a malha convencional.

5.2.6 Medição do *drapé* ou cair multidirecional (AFNOR G07 – 109)

A norma AFNOR G07 – 109 descreve o método para avaliar o caimento de uma malha, para tal é utilizado o drapeómetro (figura 51). O coeficiente de “drapé” (F) é determinado a partir do diâmetro médio de 16 medições e dos diâmetros dos discos presentes no drapeómetro.



Figura 51 - Drapeómetro - Aparelho de medição do drapé, Universidade do Minho

Primeiramente recortou-se uma circunferência de cada amostra com 250mm de diâmetro com a ajuda de um disco de suporte. De seguida colou-se a amostra no drapeómetro, como demonstrado na figura 51, e esperou-se 10 minutos. Rodou-se o suporte até à posição 1 e encostou-se a haste vertical até ao contacto com a amostra, lendo-se o valor do raio indicado. Repetiu-se a leitura para as 16 posições indicadas, tendo-se obtido os valores abaixo apresentados na tabela 26.

Para cada amostra, calculou-se o diâmetro médio (d) através das 16 medições realizadas, pela equação abaixo apresentada. Valores esses apresentados também na tabela 26 e 27.

$$d = \frac{\text{soma de todos os raios}}{16} \times 2$$

Tabela 26 - Resultados obtidos para o diâmetro médio de cada uma das malhas em análise

Amostras Nº de ensaio	Malha Reciclada (cm)	Malha Convencional (cm)
1	9,5	8
2	7,9	9,8
3	10,2	10,9
4	8	11,5
5	9,4	9

Tabela 27 - Continuação da Tabela 25

6	10,5	10,2
7	8,6	10,4
8	8,8	7,7
9	9	9
10	7,8	9,1
11	9,8	9,5
12	8,2	11,4
13	9,4	8,6
14	10,7	10
15	10,6	7,7
16	8,3	9,9
Diâmetro médio	18,35	19,09
Desvio padrão e coeficiente de variação	1 5,4%	1,2 6,3%

Posto isto, o cálculo do coeficiente de “drapé” (F) é definido pela fórmula abaixo apresentada.

$$F = \frac{d^2 - 225}{400}$$

Os valores de coeficiente de “drapé” compreendem-se entre 0 e 1, sendo que 0 é malha muito flexível e macia, e 1 uma malha muito rígida. Os resultados obtidos foram os apresentados na tabela 28.

Tabela 28 - Valores de coeficiente de drapé para ambas as malhas

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Coeficiente de “drapé”	0,35	0,28

Tendo em consideração os resultados apresentados, apesar das malhas em análise apresentarem ser ambas macias e flexíveis, a malha reciclada apresenta melhor cair.

5.3 Análise de resultados

Nas tabelas 29 e 30, podem-se analisar os vários ensaios realizados para cada uma das malhas em estudo, bem como as respetivas normas utilizadas.

Tabela 29 - Todos os ensaios realizados nas duas malhas

Ensaio		Malha	Malha 100%CO Convencional	Malha 60% CO REC Pré-Consumo 40%CO Convencional
Caracterização Básica dos Fios	Massa linear (NP 4105:1990)		20 Ne	20 Ne
	Contextura (NP EN 1049-2:1995)		14fileiras/20colunas	16fileiras/18colunas
	Espessura (NP EN 5084:1999)		0,508mm	0,482mm
	Massa por unidade de superfície (NP EN 12127:1999)		150g/m ²	145g/m ²
	Grau de Aperto		9,26	9,36
	Comprimento da laçada		0,34cm	0,34cm
	Torção do fio (NP 4104-1991)		4,2	4,7

Tabela 30 - Continuação da tabela 29

Caraterização Básica das Malhas	Resistência ao rebentamento (NP 1738-1981)	544,51KPa	10,739mm	334,24KPa	9,677mm		
	Propriedades termofisiológicas	50,2 $Wm^{-1}K$	0,185 m^2/s	14,3 m^2KW^{-1}	51,4 $Wm^{-1}K$	0,194 m^2/s	12,3 m^2KW^{-1}
	Resistência à formação de borboto pelo método do Martindale (ASTM D 4970-89)	1			3/4		
	Coefficiente de atrito cinético (Procedimento Interno)	0,2223			0,1989		
	Permeabilidade ao ar (NP EN ISO 9237:1997)	1037,1 $L/m^2/s$			1246 $L/m^2/s$		
	Medição do <i>drapé</i> ou cair multidirecional (AFNOR G07 – 109)	0,35			0,28		

Através dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização básica dos dois fios pode-se aferir que tanto o fio convencional como o fio reciclado têm parâmetros muito próximos, o que permite realizar comparações mais assertivas nos restantes ensaios.

Relativamente aos ensaios de resistência mecânica, tal como se pode verificar na tabela 31, dos 4 ensaios realizados, a malha reciclada obteve melhores resultados em três, sendo eles as propriedades termofisiológicas, a resistência à formação de borboto e o coeficiente de atrito cinético. Na resistência ao

rebetamento verificou-se que a malha reciclada rasga com menor pressão comparativamente à malha convencional. No entanto, é necessário realizar uma força de 334KPa para a malha rasgar, o que se concluir que continua a ser uma malha resistente.

Tabela 31 - Comparação dos ensaios de resistência mecânica para ambas as malhas

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Resistência ao rebetamento		
Propriedades termofisiológicas		
Resistência à formação de borboto		
Coefficiente de atrito cinético		

Realizaram-se ainda mais dois ensaios relativos à caracterização básica das malhas, o teste da permeabilidade ao ar e a medição do *drapé* de ambas as malhas. Através da comparação dos resultados verificou-se que a malha reciclada apresenta melhores valores em ambos (tabela 32), sendo uma malha mais respirável e com melhor cair.

Tabela 32 - Comparação dos ensaios físicos para ambas as malhas

	Malha Convencional	Malha Reciclada
Permeabilidade ao ar		
Medição do <i>Drapé</i>		

De um modo geral consegue-se concluir que a malha reciclada obteve melhores parâmetros comparativamente à malha convencional, apresentando, desta forma, resultados positivos e favoráveis para o estudo.

6 Conclusão

Devido à preocupação com a preservação do meio ambiente surgiu a ideia deste projeto que, tal como referido na Introdução, consiste na avaliação dos impactos ambientais associados à produção de uma malha 100% algodão convencional comparado à produção de uma malha 60% algodão reciclado/40% algodão convencional. Para tal, foi seguido o método da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), seguindo as normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2008.

Ao longo do desenvolvimento do projeto foram demonstrados todas as metodologias e processos para a melhor execução do tema desta dissertação proposto pela empresa Lurdes Sampaio, não só sobre aspetos estatísticos e numéricos (como no caso da recolha de dados e dos cálculos dos impactos ambientais), mas também sobre as propriedades inerentes aos materiais que são cada vez mais importantes, tendo em consideração fatores como: toque, resistência e bem-estar.

Através da pesquisa de mercado, analisou-se projetos desenvolvidos que têm em consideração todos os desperdícios e resíduos que a indústria têxtil gera e soluções para os combater, de forma a perceber de que forma este projeto se conseguia destacar. Constatou-se ainda inúmeros estudos científicos relativos aos impactos ambientais do setor têxtil causados por esses desperdícios.

Seguidamente à pesquisa de mercado, foi realizado um breve historial da empresa e a metodologia de trabalho usada, e ainda uma pequena explicação sobre o projeto RFive. Tal como explicado, este projeto nasceu pelas mãos da empresa e tem como objetivo a reutilização de resíduos pré-consumo para a produção de um novo material têxtil. No entanto, não existiam ainda dados concretos das poupanças ambientais ao utilizar uma malha reciclada.

Com o intuito de se obter essa informação, foi seguido o método da Avaliação do Ciclo de Vida, que está dividido em quatro fases: definição do objetivo e âmbito do estudo, análise do inventário, avaliação dos impactos ambientais e, por fim, a interpretação do ciclo de vida.

Posto isto, começou-se pela definição do objetivo e âmbito do estudo da ACV sendo que nessa etapa foram também definidos a função do sistema do produto, a unidade funcional considerada, as fronteiras do sistema, bem como todas entradas e saídas das etapas do ciclo de vida de cada uma das malhas em análise (convencional e reciclada). Considerou-se as etapas de ciclo de vida *cradle-to-gate* (desde a produção da matéria-prima até à saída da malha acabada) para ambas as malhas, sendo que no caso da malha convencional considerou-se a etapa da produção da matéria-prima, fição, tingimento do fio e tricotagem. Já para a malha convencional foram consideradas as mesmas etapas, com a exceção do tingimento do fio, uma vez que a malha reciclada não necessita de tingimento visto que o trapo triturado dá cor à malha final. De notar que, a fição utilizada pela Fiativ é a *open-end*, que se torna mais vantajosa que a convencional, uma vez que possui maior produtividade e pode atingir uma maior velocidade de

produção, produzindo fios com resistência. Relativamente ao processo de tingimento, foi optado pelo estudo do tingimento de fio ao invés do tingimento da malha, por ser um processo mais económico, no entanto, com o desenvolver da dissertação veio a apurar-se que, em termos práticos, apesar do tingimento em bobines apresentar boa igualação, para malhas lisas pode verificar-se diferenças de cor ao longo da malha (Lange, 2004).

Continuando com a Avaliação do Ciclo de Vida e de forma a analisar o seu inventário (ICV), foram recolhidos e especificados todos os dados necessários. Parte desses dados foram recolhidos nas próprias empresas, enquanto os restantes foram fornecidos através de séries de bases de dados.

A partir dos dados recolhidos foi possível a avaliação do impacto ambiental. Nesta etapa foram apresentados todos os recursos e emissões tendo em consideração as etapas do ciclo de vida, sendo eles: consumo de recursos energéticos, consumo de água, consumo de produtos químicos, emissões para o ar, emissões para a água e ainda a produção de resíduos. De notar que foi analisado ao detalhe o consumo de energia primária e o consumo de água, uma vez que apresentam valores comparativos superiores, ou seja, têm um impacto superior considerando este ciclo de vida. Para além disso, foram selecionadas as categorias de impacto do método ReCiPe 2016 midpoint (H) mais relevantes, tais como: alterações climáticas (*Climate Change*), acidificação terrestre (*Terrestrial Acidification*), eutrofização aquática (*Freshwater Eutrophication*), depleção fóssil (*Fossil Depletion*), toxicidade humana (*Human Toxicity*), ecotoxicidade terrestre (*Terrestrial Ecotoxicity*) e ecotoxicidade aquática (*Freshwater Ecotoxicity*). Os impactos destas categorias foram calculados com o auxílio de um *software* chamado GaBi.

Por fim, através da interpretação do ciclo de vida, foi obtida uma conclusão geral acerca do ciclo de vida, tendo em consideração os consumos de recursos e emissões, e ainda as categorias de impacto ambiental. Posto isto, verificou-se que a malha reciclada apresenta valores inferiores para os consumos de recursos e emissões em todos os parâmetros, nomeadamente no consumo de energia primária, utilização e consumo de água doce, emissões para o ar e água, com a exceção dos resíduos e solos sobrecarregados. Isto verifica-se uma vez que este processo está maioritariamente associado à produção de combustíveis fósseis utilizados para a produção de energia elétrica, que provoca a existência de *overburden*.

Quanto às categorias de impacto ambiental é possível constatar que a malha reciclada apresenta também valores inferiores: as alterações climáticas são 44% inferiores com a produção da malha reciclada; a acidificação é cerca de 59% inferior para a malha reciclada; a eutrofização é aproximadamente 61% inferior com a produção da malha reciclada; a depleção fóssil é cerca de 33% inferior com a produção da malha reciclada; a toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre e aquática são cerca de 62% inferiores para a malha reciclada. Tendo em consideração o panorama geral de todas as categorias de impacto, estes impactos negativos para a malha convencional verificam-se essencialmente pela fase de produção da matéria-prima de algodão convencional e processo de tingimento e, visto que a malha reciclada possui menor

percentagem de algodão convencional na sua composição e não usufrui do processo de tingimento, acaba por apresentar menores impactos ambientais. Paralelamente, verifica-se que o elevado consumo energético da malha reciclada faz com que algumas variações não sejam tão dispares, sendo que o ideal seria reduzir o consumo de energia elétrica nas suas fases de produção. No entanto, cada vez mais há a produção de energia elétrica através de energias renováveis e a utilização de painéis solares por parte das empresas, o que reduzirá os impactos ambientais. Outra melhoria, face ao anteriormente exposto, seria reduzir a percentagem de fibra convencional na malha reciclada.

Para além disso, através da interpretação do ciclo de vida pode verifica-se algumas limitações. Nem sempre foi possível a recolha de dados desejados, visto que seria necessário um maior intervalo de tempo para que as empresas envolvidas tivessem a disponibilidade pretendida para a produção das malhas em análise. Desta forma, os dados seriam muito mais fiáveis e creíveis pois estavam associados à produção real. No entanto, como não foi possível respeitaram-se ao máximo todos os parâmetros comparativos para ambas as malhas (tipo de fio, massa linear, máquinas utilizadas para os processos, entre outros), bem como todos os dados extraídos de bases de dados relativos ao ciclo de vida.

No tocante à componente prática do projeto, foram realizados diversos ensaios de caracterização básica dos dois fios e ensaios de caracterização básica às malhas. Através dos ensaios de caracterização básica dos fios foi possível comprovar que efetivamente as duas malhas em estudo possuem parâmetros muito similares, o que permite uma comparação mais viável nos restantes ensaios. Relativamente aos ensaios de caracterização básica da malha, concentrando nos testes de resistência mecânica realizados, denotou-se que a malha reciclada apresentou melhores valores na maioria. Na resistência à formação de borboto a malha reciclada apresentou grau 4, enquanto para a malha convencional foi atribuído grau 1; na determinação de coeficiente de atrito cinético a malha reciclada apresenta melhor toque (0,1989) do que a malha convencional (0,2468); na determinação das propriedades térmicas verificou-se que a malha reciclada obteve um valor superior de difusividade térmica, assim como de condutividade térmica e, conseqüentemente, baixa resistência térmica, comparativamente à malha convencional. Por outro lado, na determinação da resistência ao rebentamento foi possível verificar que a malha reciclada rebenta com maior facilidade do que a malha convencional. No entanto, é necessário realizar uma força muito elevada (334KPa) para acontecer um rasgo na malha, tendo-se considerado que o valor apresentado para a malha reciclada é suficiente. Foram ainda realizados dois ensaios de permeabilidade ao ar e a medição do *drapé*. Verificou-se que a malha reciclada é mais respirável que a malha convencional, assim como apresenta melhor cair. Desta forma, conclui-se que, quanto aos ensaios realizados às duas malhas, a malha reciclada apresenta valores mais favoráveis do que a malha convencional.

Termina-se a conclusão dando especial destaque ao facto de se ter conseguido demonstrar que efetivamente a malha reciclada apresenta menor impacto ambiental e ainda demonstra ser uma malha

resistente, respirável e com bom toque. Na vertente do consumidor, apesar do fio/malha reciclada apresentar um valor mais caro comparativamente ao fio/malha convencional, cabe ao consumidor perceber se prefere comprar uma malha mais barata monetariamente, mas mais “cara” para o meio ambiente, ou se prefere realmente optar por uma malha com valor superior, porém mais “barata” para o planeta, ou seja, menos impactante para o planeta.

Não é demais referir que a execução desta dissertação permitiu desenvolver competências transversais, como a gestão de tempo, comunicação oral e escrita, e ainda a resolução de contratempos, tais aptidões desenvolvidas serão úteis no decorrer da vida profissional.

6.1 Perspetivas Futuras

Tendo em consideração a conclusão apresentada, futuramente seria interessante desenvolver os seguintes pontos:

- Recolher dados de produção reais do processo de tricotagem e tingimento para cada uma das malhas em questão, ou seja, seria o ideal registar dados de todas as empresas envolvidas no processo produtivo de forma a garantir mais fiabilidade dos resultados obtidos;
- Recolher dados relativos ao tingimento da malha e não do fio;
- Comparar se o tingimento de uma cor mais escura teria impactos mais elevados do que uma cor mais clara, que foi a selecionada neste projeto;
- Uma vez que a ideia inicial foi avaliar os impactos de uma t-shirt composta por fio 100% algodão convencional e comparar com outra t-shirt com fio 60%CO reciclado/40%CO convencional, seria interessante, junto de uma confeção, dar continuidade ao projeto nesse sentido. Ou seja, desenvolver a peça realmente e verificar o quando é poupado para o ambiente ao utilizar a t-shirt reciclada.

7 Referências Bibliográficas

- A new textiles economy: redesigning fashion's future.* (2017). Obtido de Fundação Ellen Macarthur : <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>
- Agenda, G. F. (2017). Global Fashion Agenda. *Pulse of the fashion industry.*
- Appel, M. (2019). *Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de uma Malha Têxtil de Algodão.* Florianópolis.
- Appel, M. (2019). *Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de uma Malha Têxtil de Algodão.* Florianópolis.
- Araújo, M. d. (1988). *Manual das malhas de trama* (1ª ed.). Coimbra: Ministério da Indústria e Energia - Direção Geral da Indústria. Obtido em 2019
- Bairras, A. M. (2016). *Análise de Ciclo de Vida de Betão com Agregados Reciclados para Aplicação Estrutural.* Covilhã, Portugal.
- Bartholomeu, D. B. (2006). *Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras*. Universidade de São Paulo.
- Beton, A., Dias, D., Farrant, L., Gibon, T., & Le Guern, Y. (2014). Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles). Luxembourg.
- Brandit. (2022). *Teares.* Obtido de Abilhetex.
- Capucho, J. (2019). Portugueses deitam fora 200 mil toneladas de roupa por ano. *Diário de Notícias.*
- Carbona, G. V. (1983). *Futuro de los Colorantes Reactivos sobre Celulósicas.* Colombia Textil: Medellín.
- Cardoso, A. A. (2013). *LIFE CYCLE ASSESSMENT OF TWO TEXTILE PRODUCTS WOOL AND COTTON.* Porto.
- Citeve. (1989). *Citeve - Sobre nós.* Obtido de Citeve - Tecnologia Textil.
- Coltro, L. (2007). *Avaliação do Ciclo de Vida - ACV.*
- Corporation, S. A. (2006). Life Cycle Assessment: Principles and Practice. Cincinnati, Ohio.
- D'almeida, M. L., & Vilhena, A. (2000). *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado.*
- Donke, A. (2013). Life cycle assessment of cotton production in the Brazilian Savanna . *Proceedings of the Vth International Conference on Life Cycle Assessment.* Mendoza.
- Duijn, H. v. (fevereiro de 2020). Fibersort - European Regional Development Fund. *Recycled post-consumer textiles - an industry perspective*. Amsterdão, Holanda.
- Energy, G. (2022). *Energia Térmica.* Obtido de Gold Energy.
- Epa, U. E. (2006). *Life Cycle Assessment: Principles And Practice.* Cincinnati, Ohio.

- Euronews. (2017). Economia Circular: vantagem sobre a economia linear. *Euronews*.
- Ferreira, J. (2004). *Análise de Ciclo de Vida*. Instituto Politécnico de Viseu.
- Ferreira, J. V. (2004). *Análise do Ciclo de Vida de Produtos*. Viseu.
- Furtado, J. M. (2014). *Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos*. Lisboa.
- Global Recycled Standard - Implementation Manual 4.2. (1 de julho de 2017). Textile Exchange.
- Goedkoop, M., Huijbregts, M., Schryver, A., & Zelm, R. (2013). *Recipe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the Midpoint and the endpoint level* (Vol. First Edition (versão 1.08)).
- Gonçalves, M., & Real, F. (2021). As lojas e marcas sustentáveis em Lisboa que tem de conhecer. *Time Out*.
- Guinée, J. B. (2002). *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Dordrecht: Kluwer.
- Halimi, M. T., Ben Hassen, M., & Sakli, F. (30 de Janeiro de 2008). Resources, Conservation and Recycling. *Cotton waste recycling: Quantitative and qualitative assessment*, p. 7.
- Hypeness. (6 de maio de 2014). Para provar que a moda pode ser sustentável, marca lança projetos de roupas pensando no meio ambiente. *Hypeness*.
- Impactos ambientais*. (2018). Obtido de Lógica Energy.
- Lange, C. R. (2004). *Estudo das Condições Operacionais do Processo de Tingimento de Fibra Mista Acrílico/Algodão em Bobine Cruzada*. Florianópolis.
- Legnaioli, S. (2010). Ecycle: Consumo e Produção. *O que é economia linear e seus impactos?*
- Leitão, S. I. (2016). *Análise comparativa dos métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida na sua aplicação a processos químicos*. Lisboa.
- Mazepa, G. (2013). *Re-roupa*. Obtido de Re-roupa: <https://loja.reroupa.com.br/>
- Mendonça, C., Rodrigues, C., Moutinho, V., & Robalo Rosa, R. (2019). A pegada da nossa roupa - Moda Sustentável. *Público*.
- Menendez, M. G. (junho de 2019). LabJor FAAP. *Projetos — e looks — sustentáveis conquistam o mundo da moda*.
- Mercial, E. R. (2018). *Avaliação do Impacto Ambiental na produção*. Universidade do Minho.

- Mesacasa, A., & Alves da Cunha, M. (2019). *Development of fashion products from textile waste: a study in the town of Pato Branco -PR. Paraná.*
- Moda Lisboa. (2020). *ModaLisboa Sustentável.*
- Morita, A. M. (Fevereiro de 2013). Avaliação de impactos ambientais do setor têxtil por meio da ACV (Avaliação do Ciclo de Vida). *Estudo de caso: calça jeans.* Universidade Estadual de Maringá.
- Muthu, S. S. (2014). *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain.*
- Nunes, F. R., R. Silva, M., & R. M. Nunes Filho, F. (1999). *PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS FIBRAS DE ALGODÃO USADAS NA INDÚSTRIA DE FIAÇÃO OPEN END PARA FABRICAÇÃO DE TECIDO DENIM: ESTUDO DE CASO DAS INDÚSTRIAS DO CEARÁ.* São Paulo.
- OEKO-TEX®. (2022). *OEKO-TEX®.* Obtido de STANDARD 100 by OEKO-TEX®.
- Oliveira, P. M., Castro, C. G., & Safar, G. H. (2007). *Softwares utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Uma abordagem analítica.* Anais.
- Pereira, G. d. (2010). *Introdução a Tecnologia Textil.* Apostila - Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina.
- Pinheiro, M. (2014). *Impactes Ambientais.* Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Programme, U. N. (2000). *Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment.* Brighton.
- Ramos, F. M. (2009). *Tratamento de Resíduos Sólidos da Indústria Têxtil.* Maringá, Brasil.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Noris, G., & Rydberg, T. (2004). Life cycle assessment Part 1.: Em *Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications* (pp. 700-720). Environment International.
- Refosco, E. C. (2012). *Estudo do ciclo de vida dos produtos têxteis: um contributo para a sustentabilidade na moda.* Universidade do Minho.
- Remy, N., Speelman, E., & Swartz, S. (20 de Outubro de 2016). McKinsey Sustainability. *Style that's sustainable: A new fast-fashion formula.*
- Revello, J. H. (2002). *Tingimento de fios têxteis em Bobinas - Uma Abordagem Numérica e Experimental.* Florianópolis.
- Rodrigues, C. R., Zoldan, M., Leite, M., & Oliveira, I. (2008). Sistemas Computacionais de apoio a ferramenta Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV). *Enegep.* Rio de Janeiro.
- Šajin, N. (janeiro de 2019). Environmental impact of the textile and clothing industry. European Parliamentary Research Service.

- Saldo Positivo. (11 de março de 2022). *Energia primária: quais as fontes disponíveis e como as usamos?*
- Sampaio, L. (2020). *Welcome! Put on your headphones and enjoy the power of RFive Project*. Obtido de RFive Project: <http://www.rfiveproject.com/>
- Silva, Â., & Souto, P. (2013). *Estudo da substituição do couro pela pele de cortiça para aplicação em calçado/vestuário*. Guimarães.
- Smithers, R. (2017). UK households binned 300,000 tonnes of clothing in 2016. *The Guardian*.
- Solutions, G. (2022). *Sphera*. Obtido de Gabi.Sphera.
- Souza, C. S. (2011). *Variação de Temperatura e Humidade e suas Influências nas Características Físicas e mecânicas dos fios de algodão*. Natal-RN.
- Souza, D. M. (2009). *A Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14040)*.
- Souza, D. P. (2004). *Aplicação do Método da Média no Volume para Simulação do Tingimento de Fios Empacotados com Corantes Reativos*. Florianópolis.
- Textil, P. (26 de janeiro de 2022). Vestuário. *11 milhões de peças com segunda vida*.
- Textile Exchange. (2014). *Life Cycle Assessment (LCA) of Organic Cotton, A Global Average*.
- Toniollo, M., Piva Zancan, N., & Wüst, C. (23-26 de Novembro de 2015). Indústria Têxtil: Sustentabilidade, impactos e minimização. *VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*.
- Toniollo, M., Zancan, N., & Wust, C. (2015). Indústria Textil: Sustentabilidade, Impactos e Minimização. *VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, (p. 5). Porto Alegre.
- United Nations Environmental Programme. (2003). *Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment*.
- Wulffhorst, B. (1984). *The technological and economic aspects of the recycling of wastes*. Foreign editor.

8 Anexos

Anexo 1

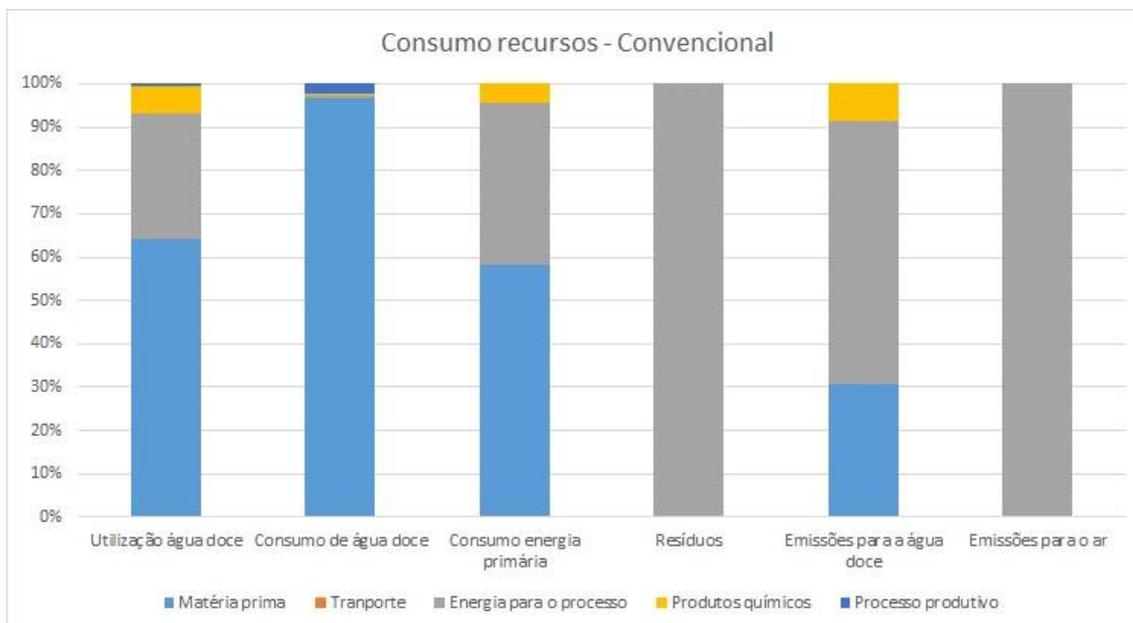


Figura 52 - Distribuição percentual do peso de cada indicador de emissões e consumo de recursos – malha convencional, acervo do autor

Anexo 2

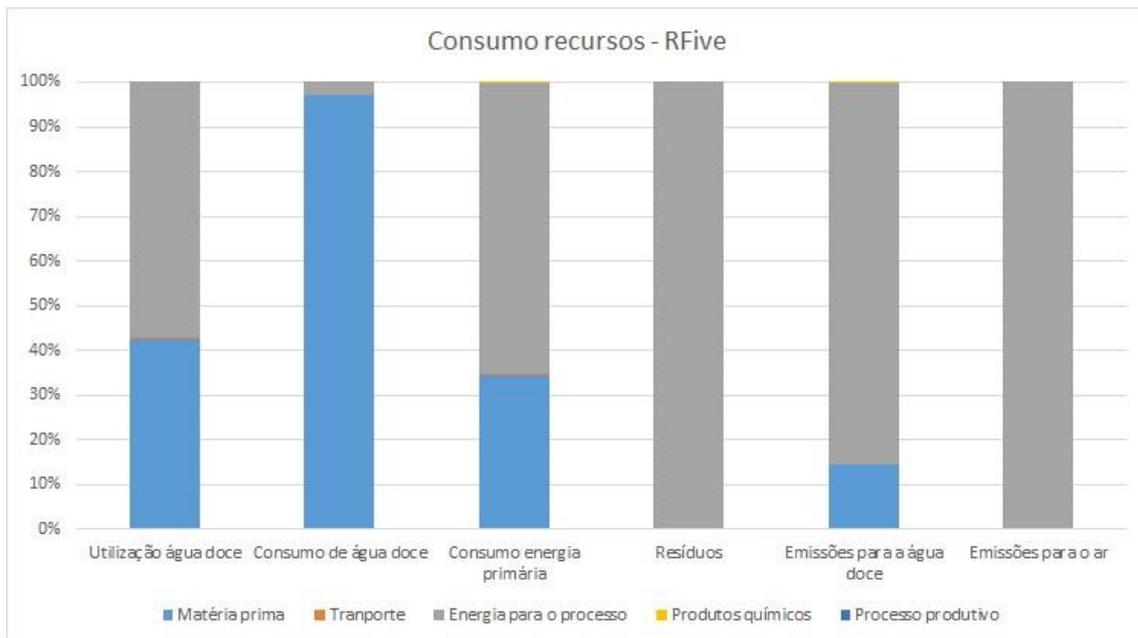


Figura 53 - Distribuição percentual do peso de cada indicador de consumo de recursos – malha reciclada, acervo do autor

Anexo 3

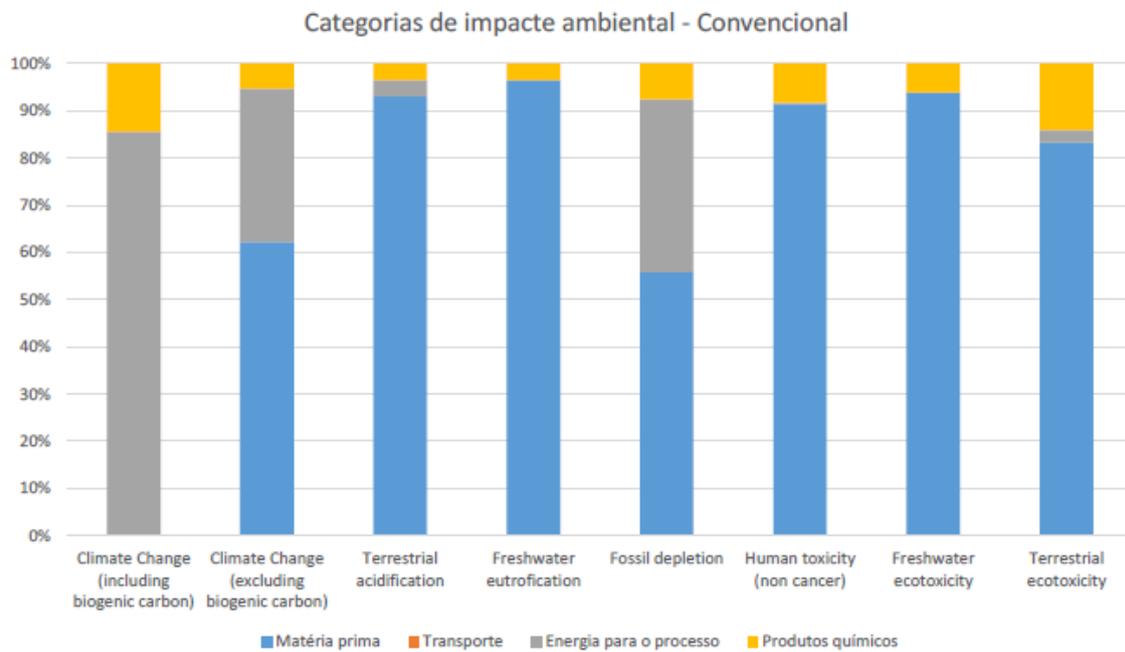


Figura 54 - Distribuição percentual do peso de cada categoria de impacto ambiental – malha Convencional, acervo do autor

Anexo 4

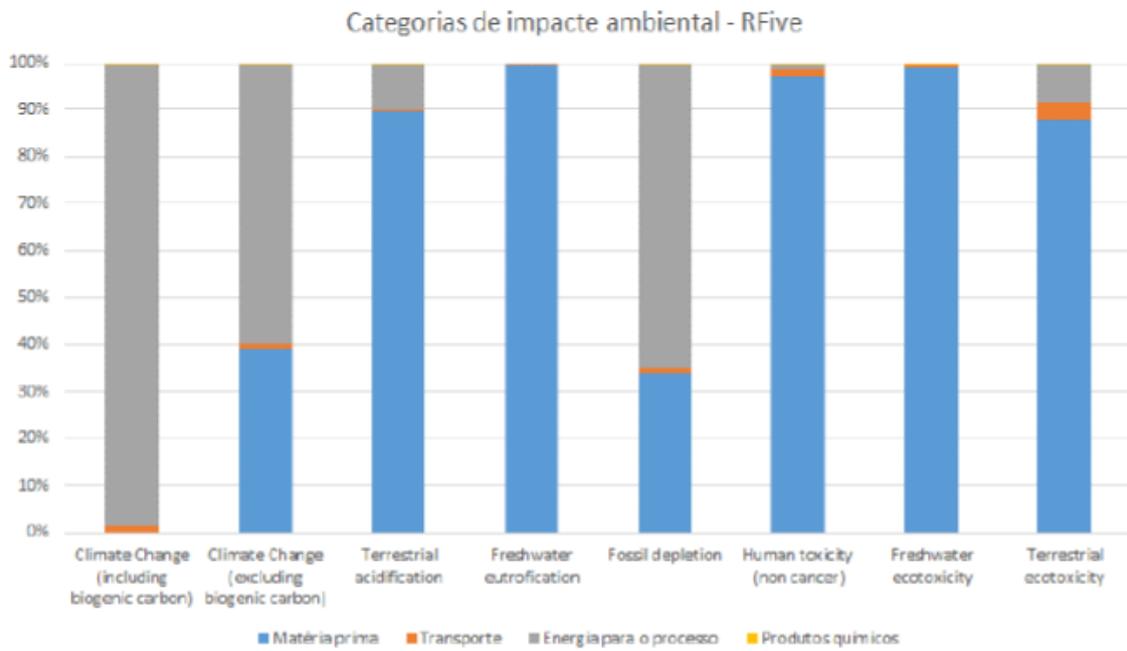


Figura 55 - Distribuição percentual do peso de cada categoria de impacto ambiental – malha Reciclada, acervo do autor

Anexo 5

Tabela 33 - Ensaio do comprimento da laçada nos 10 fios da malha convencional

Nº ensaio	Comprimento do fio (cm)	Lu (comprimento da laçada – cm)	tex do fio convencional
1	34,4	0,344	29,5
2	34,6	0,346	
3	34,9	0,349	
4	34,4	0,344	
5	34,4	0,344	
6	34,4	0,344	
7	34,4	0,344	
8	34,4	0,344	
9	34,2	0,342	
10	34,3	0,343	
Média	34,4	0,344	

Tabela 34 - Medição do comprimento da laçada nos 10 fios da malha reciclada

Nº ensaio	Comprimento do fio (cm)	Lu (comprimento da laçada – cm)	tex do fio reciclado
1	33,3	0,333	29,5
2	34,2	0,342	
3	33,5	0,335	
4	34,2	0,342	
5	33,8	0,338	
6	33,3	0,333	
7	34,0	0,34	
8	33,6	0,336	
9	33,7	0,337	
10	33,3	0,333	
Média	33,7	0,337	

Anexo 6

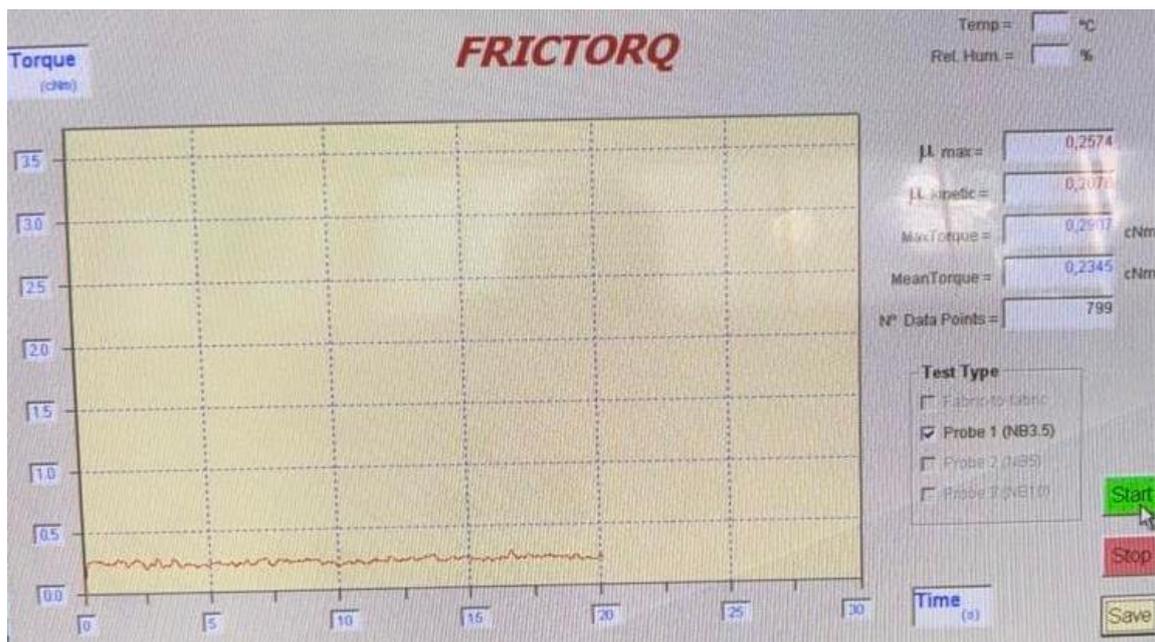


Figura 56 – Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (primeiro teste), acervo do autor

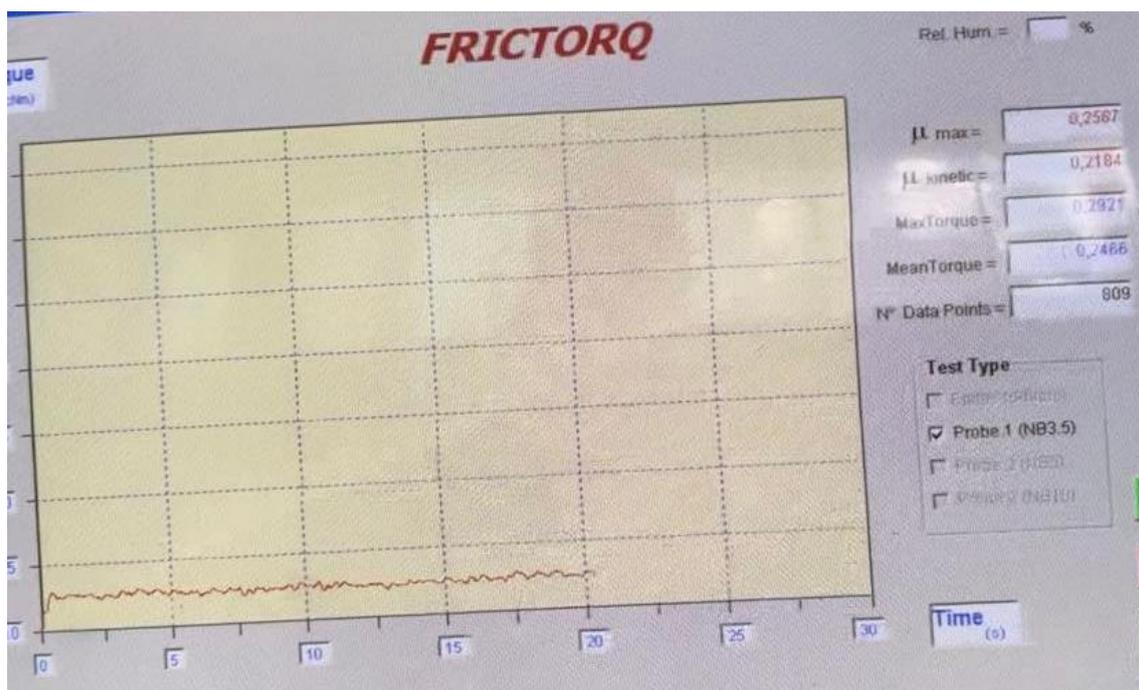


Figura 57 -Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (segundo teste), acervo do autor

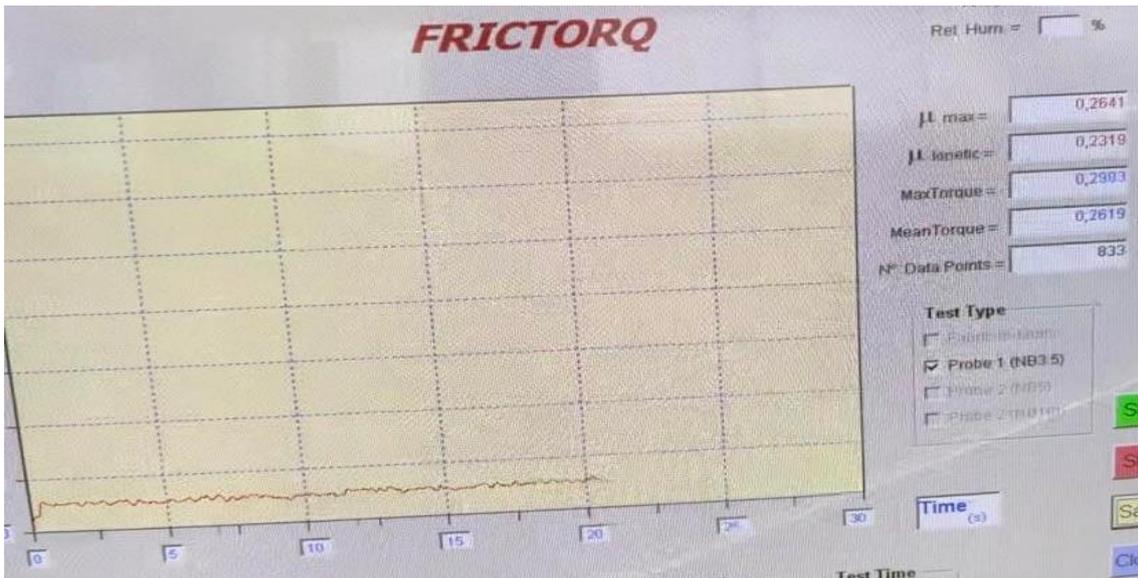


Figura 58 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (terceiro teste), acervo do autor

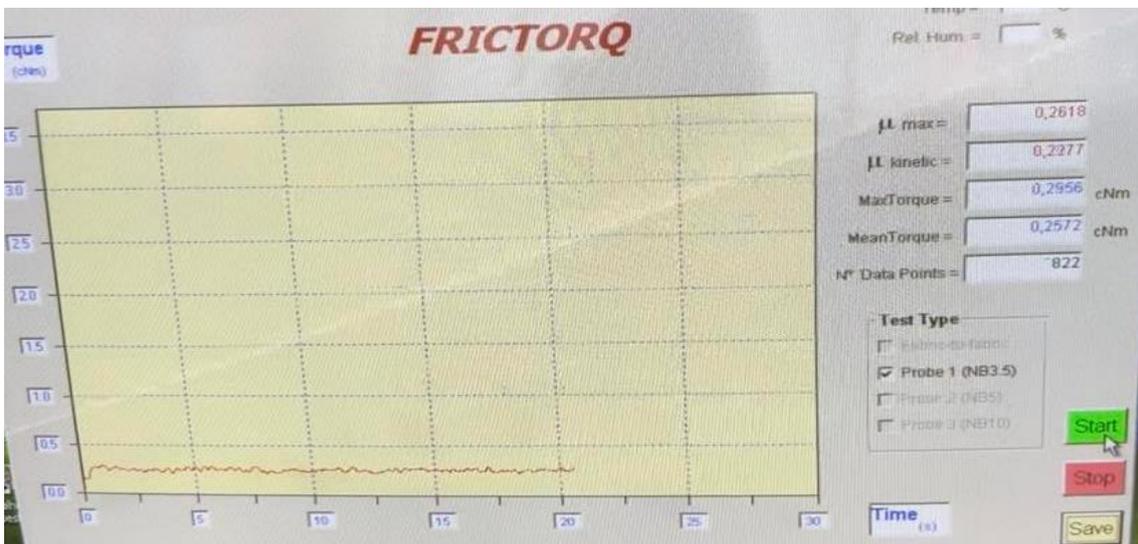


Figura 59 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quarto teste), acervo do autor



Figura 60 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quinto teste), acervo do autor

Anexo 7

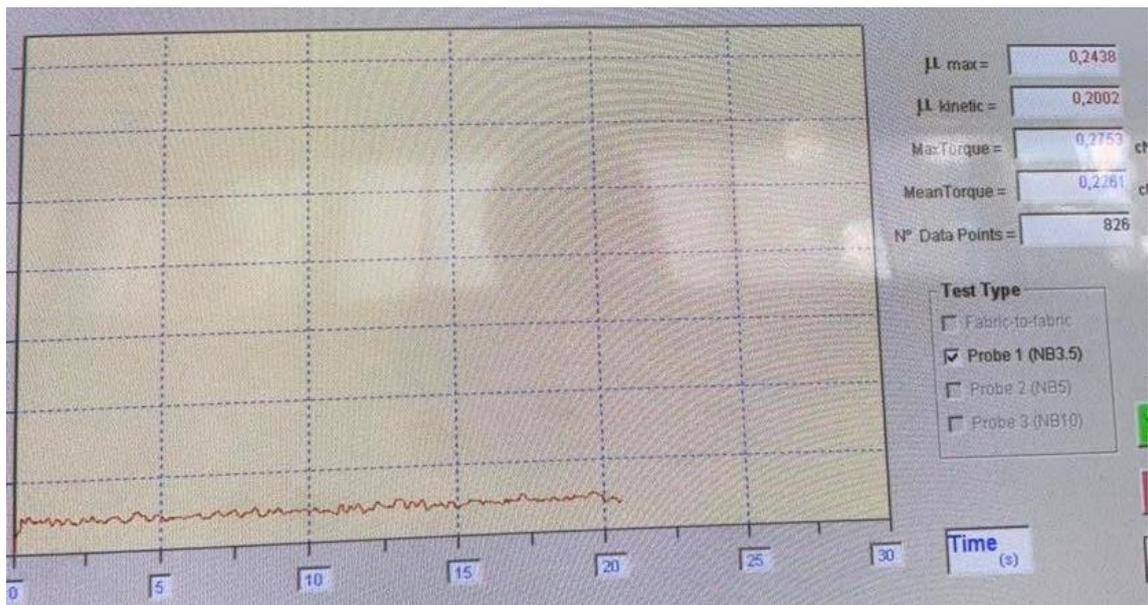


Figura 61 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (primeiro teste), acervo do autor

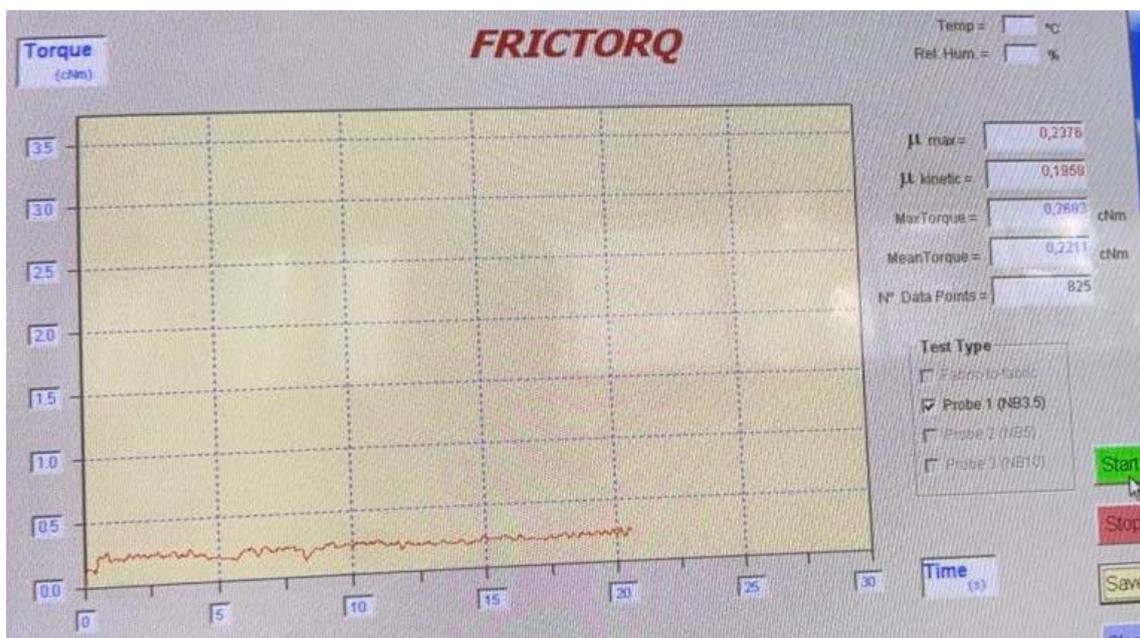


Figura 62 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (segundo teste), acervo do autor

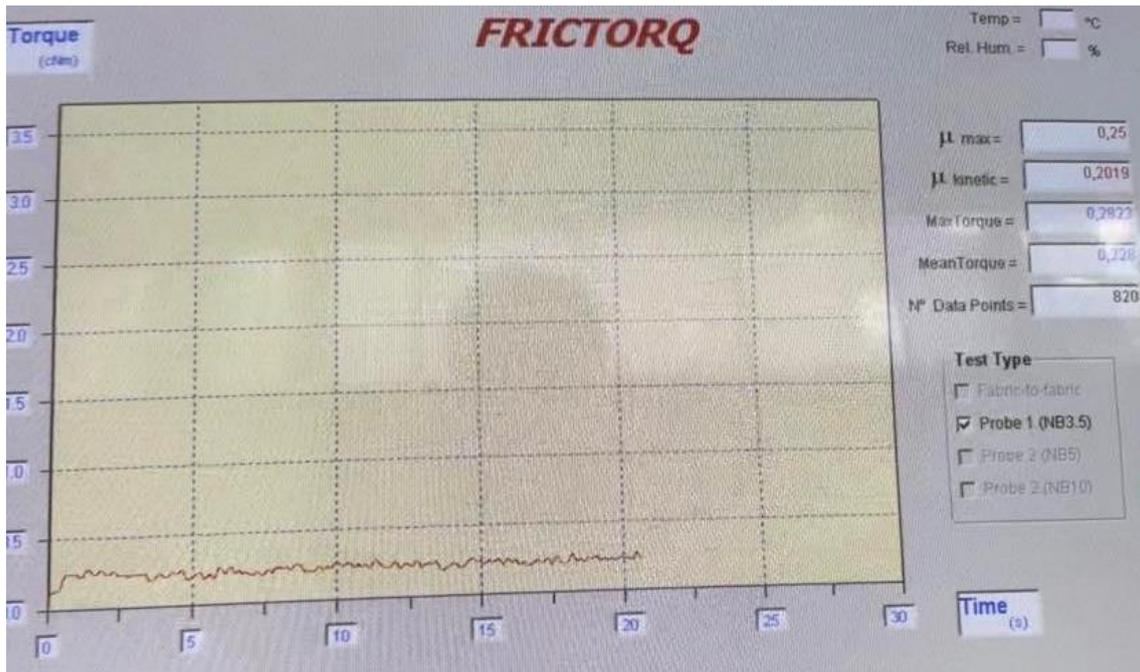


Figura 63 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (terceiro teste), acervo do autor

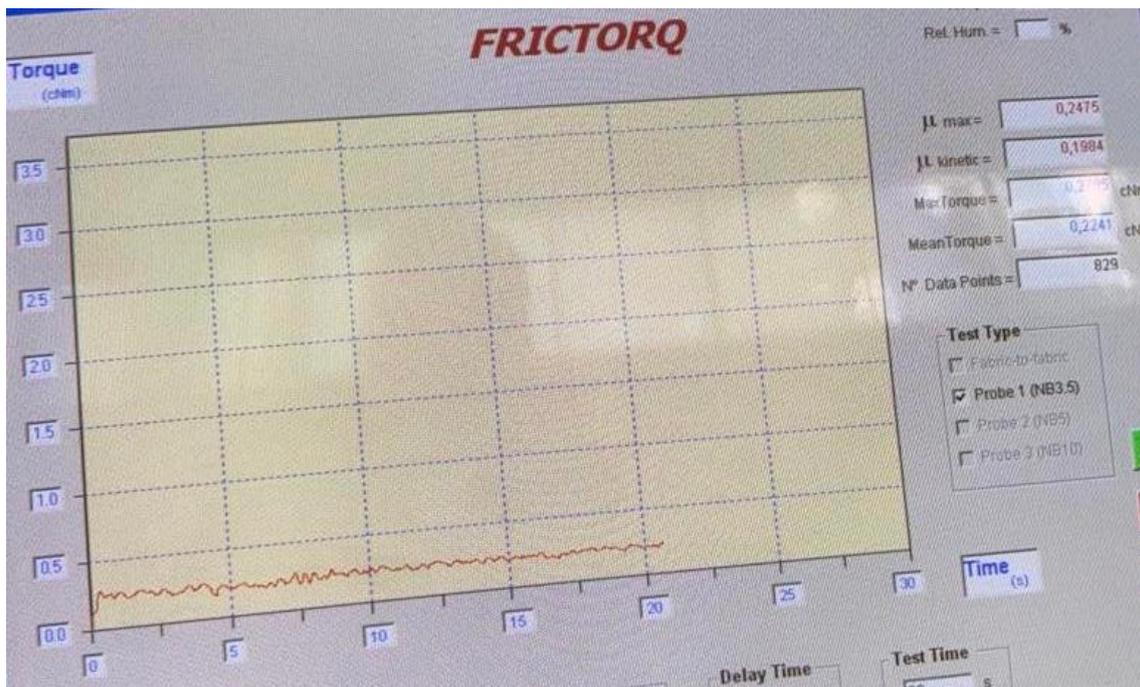


Figura 64 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quarto teste), acervo do autor

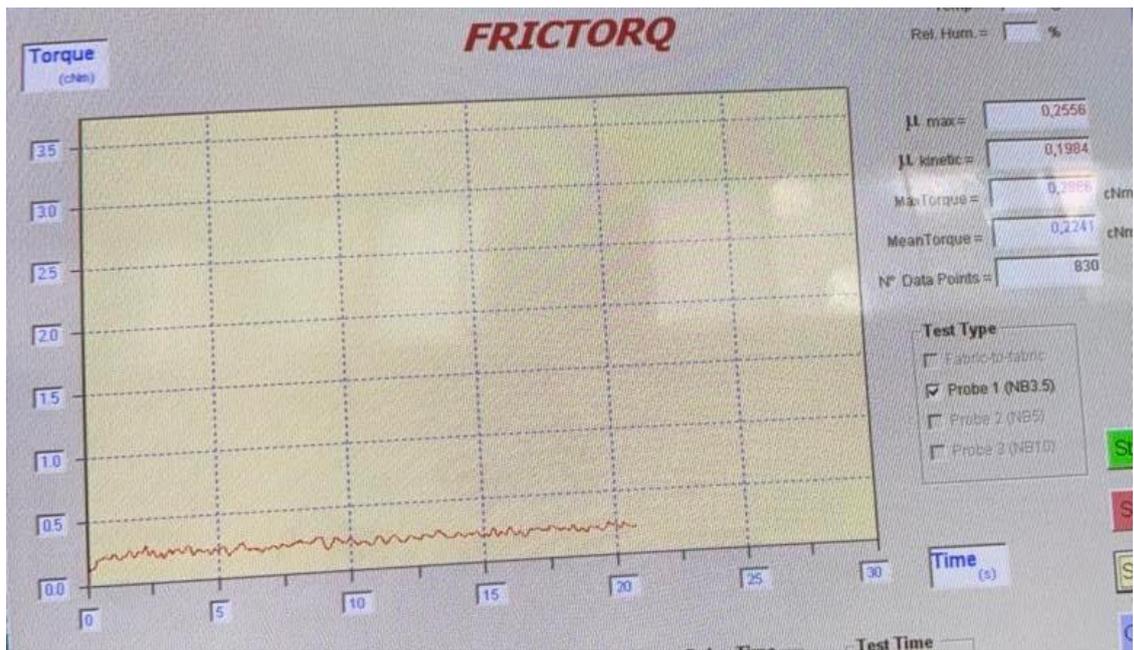


Figura 65 - Gráfico obtido no ensaio do coeficiente de atrito cinético para a malha convencional (quinto teste), acervo do autor

Anexo 8

Tabela 35 - Resultados obtidos para os 5 ensaios da determinação das propriedades térmicas - malha convencional

Parâmetros Ensaio	Condutividade térmica - λ	Difusividade térmica - α	Absortividade térmica - b	Resistência térmica - r	Espessura - h	Fluxo de calor - q
1	50,3	0,201	112	14,4	0,72	0,776
2	51,1	0,184	115	13,7	0,70	0,777
3	49,5	0,205	108	14,3	0,71	0,767
4	50,8	0,176	121	14,6	0,74	0,745
5	49,4	0,158	124	14,6	0,72	0,776

Tabela 36 - Resultados obtidos para os 5 ensaios da determinação das propriedades térmicas - malha reciclada

Parâmetros Ensaio	Condutividade térmica - λ	Difusividade térmica - α	Absortividade térmica - b	Resistência térmica - r	Espessura - h	Fluxo de calor - q
1	52,8	0,195	120	12,3	0,65	0,849
2	51,1	0,175	121	12,5	0,64	0,833
3	51,4	0,197	118	12,2	0,63	0,825
4	52,7	0,247	106	12,0	0,63	0,795
5	50,3	0,155	126	12,3	0,62	0,823