Mariana Pedro Fernandes

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE DOIS COMPONENTES PARA AUTOMÓVEIS PRODUZIDOS NA CIE PLASFIL

Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente, orientada pelo Professor Doutor Fausto Miguel Cereja Seixas Freire e apresentada no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra

Fevereiro de 2015

Universidade de Coimbra

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA
DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Avaliação de Ciclo de Vida de dois componentes para automóveis produzidos na CIE Plasfil

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente

Autor

Mariana Pedro Fernandes

Orientadores:

Professor Doutor Fausto Miguel Cereja Seixas Freire

Professor Doutor João Manuel Nogueira Malça de Matos Ferreira

Júri

Presidente	**Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar**
Vogal	**Professor Doutor José Joaquim da Costa**
Orientador	**Professor Doutor Fausto Miguel Cereja Seixas Freire**

Coimbra, Fevereiro, 2015

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.”

Platão

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação de mestrado só foi possível devido ao apoio e colaboração de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar saliento o Professor Doutor Fausto Freire pela sua orientação, disponibilidade e apoio prestados ao longo deste trabalho; agradeço também ao Professor Doutor João Malça pela sua orientação e auxílio no desenvolvimento desta dissertação.

Destaco também a paciência, disponibilidade e compreensão incondicional do meu colega Carlos Ferreira, que foi uma ajuda fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço as suas críticas construtivas e a sua sincera dedicação na ajuda da resolução de problemas que foram surgindo ao longo desta dissertação.

Agradeço à empresa CIE Plasfil a sua colaboração, pois sem ela seria impossível a concretização desta tese e, em especial, à Engenheira Cláudia Esteves pela sua disponibilidade, apoio, simpatia e tempo despendido.

Aos meus colegas do Centro de Ecologia Industrial do Departamento de Engenharia Mecânica, agradeço a simpatia e ajuda prestadas.

À minha família, particularmente pais e irmão, presto um especial agradecimento pelo apoio incondicional, paciência e tolerância nos dias de maior nervosismo, assim como os concelhos, motivação e carinho, pois são eles o meu porto seguro. Ainda, ao meu namorado André, agradeço a compreensão e apoio incondicional dados durante este trabalho.

À minha amiga Joana Cunha, agradeço o apoio e as pausas para o café que foram muito importantes para a minha inspiração e descontracção.

A todos os meus amigos que me acompanharam ao longo desta jornada académica, agradeço a amizade sincera e o apoio prestados.

RESUMO

Na presente dissertação é apresentado um estudo de avaliação de ciclo de vida de dois tipos de componentes para automóveis (puxador de porta e apoio de braço) produzidos na CIE Plasfil, que é uma empresa industrial transformadora de plásticos por injecção localizada na Figueira da Foz. Foram comparados diferentes cenários para cada um dos tipos de componentes, tendo em conta diferentes tipos e quantidades de matéria-prima (virgem e reciclada) e procurando identificar as fases mais críticas e oportunidades para redução dos impactes ambientais de ciclo de vida. O estudo realizado focou o seu âmbito na fase de produção na CIE Plasfil e em outros processos associados a esta produção, para os quais, embora não ocorrendo na CIE Plasfil, nos foi possível recolher directamente dados (p.e. reciclagem de matéria-prima, o processo de cataforese). Trata-se, assim, de um estudo de avaliação de ciclo de vida, que inclui todas as fases até à unidade receptora de montagem do automóvel. A fase do uso não foi considerada, o que deverá ser tido em conta na comparação de peças com diferentes pesos.

No caso do puxador de porta, foram definidos três cenários de estudo: A) puxador de porta constituído apenas por matéria-prima virgem (ABS-PC); B) puxador de porta constituído por matéria-prima virgem e reciclada (incorporação dos jitos formados na produção de outros puxadores de porta); C) um puxador de porta formado exclusivamente por matéria-prima reciclada proveniente de jitos e de um processo de reciclagem desenvolvido pela empresa Gecomplast S.L. Todos os cenários têm como receptoras das peças fabricadas unidades de montagem situadas na França e na Rússia.

Para a avaliação do apoio de braço (*armrest*), foram também diferenciados três cenários: "*armrest* B" produzido essencialmente com aço; "*armrest* J" formado essencialmente por polímeros de matéria-prima PBT PET GF30 (tereftalato de polibutileno, polietileno e de 30% fibra de vidro); e o "*armrest* J_novo *design*" que constitui uma versão com peso reduzido do *armrest* J, através da utilização de PP GF30 (polipropileno e 30% de fibra de vidro) numa das componentes da peça (*charnière*). As

unidades receptoras do *armrest* dependem dos cenários. O *armrest* B tem destino em Espanha, enquanto o *armrest* J e o *armrest* J_novo *design* têm destino em França.

Na análise da comparação dos três cenários do puxador de porta, verificou-se que as fases que mais contribuem para os impactes energéticos e ambientais são a produção de ABS-PC (devido ao fabrico do policarbonato), a electricidade para a injecção (devido aos impactes associados à geração de electricidade) e o transporte (combustão e emissão de gases). O puxador de porta com cenário de produção A é o que apresenta pior desempenho ambiental devido à matéria-prima que o constitui ser completamente virgem. Por outro lado, o puxador de porta com cenário de produção C, por ser constituído por matéria reciclada, é o que apresenta melhor desempenho ambiental, logo o seu ciclo de vida contribui com menores impactes no ambiente.

Na comparação dos três puxadores de porta em relação às unidades receptoras (França e Rússia), verificou-se que o transporte para a Rússia é a fase que implica maiores impactes ambientais em todas as categorias.

Na comparação dos cenários do *armrest*, conclui-se que o *armrest* J é o que tem mais impactes ambientais e energéticos, seguido do *armrest* J_novo *design* (com menos 12% a quantificar nas categorias analisadas pelo método *Cumulative Energy Demand* (CED) e pelo método CML 2 *baseline* 2000. O *armrest* B é o que tem menores impactes no ambiente, menos cerca de 41% relativamente ao *armrest* J. As três fases que mais contribuem para os impactes ambientais por ordem de importância são o fabrico das matérias-primas (aço e PBT PET GF30), a geração de electricidade usada na produção das peças e o transporte.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida, CIE Plasfil, componentes para automóveis, puxador de porta, apoio de braço.

ABSTRACT

In the present dissertation, it is presented the life cycle assessment of two kinds of automotive components (door handle and armrest) produced in CIE Plasfil, which is an industrial company of plastics transformation by injection located in Figueira da Foz. Different scenarios were compared for each type of automotive components taking into account different weights and types of raw material (virgin or recycled) in order to identify the most critical phases and opportunities to reduce the environmental impacts of the life cycle. The study focused its scope on the production phase in CIE Plasfil and in other processes associated to this production for which, not occurring in CIE Plasfil, it was possible to collect data directly (e.g. recycling of raw materials, cataphoresis process). It is a study of life cycle up assessment that includes all the stages of life cycle to the unit receiver of the automobile assembly. The use phase was not considered, it will be taken into account in the comparison of the components with different weights..

In the case of the door handle three study scenarios were defined: A) door handle made with up only virgin raw material (ABS-PC); B) door handle produced with virgin and recycled raw material (integration of sprues formed in the production of other door handles); C) a door handle consisting solely of recycled raw material, which is obtained from sprues and by a recycling process developed by Gecomplast S.L. In all scenarios the manufactured parts ate to be received by assembling units in France and Russia.

To evaluate the armrest there are also three different scenarios: “armrest B” essentially made up of steel; “armrest J” produced essentially with raw material PBT PET GF30 (polybutylene polyethylene terephthalate and 30% of fiber glass) polymers; and the “armrest J_new design” which is an improved version of armrest J and uses PP GF30 (polypropylene and 30% of fiber glass) in one of the component parts (*charnière*). The receiver units differ from the previous ones. The destination of armrest B is Spain; the destination of armrest J and of armrest J_new design is France.

In the comparative analysis of the three scenarios of the door handle, it was verified that the stages that contribute more to the energy and environmental impacts are the ABS-PC production (due to the polycarbonate manufacture), injection electricity

(due to impacts associated with the generation of electricity) and transport (due to combustion and gas emissions). The door handle with production scenario A presents the worst environmental performance due to its composing raw material which is completely virgin. On the other hand, the door handle with production scenario C, being composed by recycled material, is the one that presents the best environmental performance, therefore its life cycle has the least environmental impacts.

When comparing the three door handles regarding the destination (France and Russia), it was verified that the transport to Russia is the phase that entails greater environmental impacts in all categories.

Comparing the armrest scenarios, it is concluded that armrest J is the one that has the greatest environmental and energetic impacts followed by armrest J_new design (with 12% less to quantify in the analyzed categories through the Cumulative Energy Demand (CED) method and the CML 2 baseline 2000 method. The armrest B is the one that has the least environmental impacts, with 41% less than armrest J. The three phases that contribute the most to environmental impacts are, by order of importance, the raw material manufacture (steel and PBT PET GF30), the generation of electricity used in the parts production, and the transport.

Keywords: Life cycle assessment, CIE Plasfil, cars components, door handle, armrest.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS ix

ÍNDICE DE TABELAS xiii

SIGLAS xv

1. INTRODUÇÃO 1
   1.1. Enquadramento e motivações 1
   1.2. CIE Plasfil 3
      1.2.1. História da Empresa e Missão 3
      1.2.2. *Layout* e Descrição do processo produtivo 4
   1.3. Estado de arte 7
   1.4. Objectivos 10
   1.5. Estrutura da dissertação 11

2. MODELO E INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DE 2 TIPOS DE COMPONENTES 13
   2.1. Inventário do puxador de porta: 3 cenários de produção (A, B e C) 13
   2.2. Apoio de braço (*armrest*) 20
      2.2.1. Inventário do *armrest* B (aço) 20
      2.2.2. Inventário do *armrest* J (plástico) 24
      2.2.3. Inventário do *armrest* J _ novo *design* (plástico) 27

3. ANÁLISE DE RESULTADOS 31
   3.1. Puxador de porta 31
      3.1.1. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do puxador de porta: cenário de produção A 31
      3.1.2. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do puxador de porta: cenário de produção B 34
      3.1.3. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do puxador de porta: cenário de produção C 37
      3.1.4. Comparação dos três cenários de puxador de porta 40

3.2. *Armrests* B, J e J_ novo *design* 44
3.2.1. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do *Armrest* B 44
3.2.2. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do *Armrest* J 46
3.2.3. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do *Armrest* J_Novo *design* 49
3.2.4. Comparação dos *armrest* B, J e J_novo *design* 52
4. CONCLUSÕES 57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61
APÊNDICE A – TEMPERATURAS E TEMPOS DE SECAGEM DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PROCESSO DE INJECÇÃO 65
APÊNDICE B – PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DOS DIFERENTES POLÍMEROS 69
APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DA RECICLAGEM DE ABS-PC NA GECOMPLAST S.L. 71
APÊNDICE D – PROCESSO DE CATAFORESE DA CAETANO COATINGS S.A. 73
APÊNDICE E – CATEGORIAS DE IMPACTE AMBIENTAL 75
APÊNDICE F – RESULTADOS DO ACV DO PUXADOR DE PORTA 77
APÊNDICE G – RESULTADOS DO ACV DO *ARMREST* 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Roda da estratégia de *ecodesign* (adaptado de Hemel e Brezer 1997). 2

Figura 1.2 - Vista aérea da CIE Plasfil (disponibilizado de CIE Plasfil). 3

Figura 1.3 - *Layout* da CIE Plasfil. 5

Figura 1.4 - Esquema geral do processo produtivo da CIE Plasfil. 6

Figura 2.1 - Puxador de porta (disponibilizado de CIE Plasfil). 14

Figura 2.2 - Fluxograma do processo de produção de um puxador de porta com matéria-prima plástica 100% virgem (cenário de produção A). 14

Figura 2.3 - Fluxograma do processo de produção de um puxador de porta com matéria-prima plástica virgem e incorporação de plástico reciclado internamente (cenário de produção B). 15

Figura 2.4 - Fluxograma do processo de produção de um puxador de porta com matéria-prima plástica reciclada externamente e incorporação de plástico reciclado internamente (cenário de produção C). 16

Figura 2.5 - *Armrest* B e *Armrest* J (disponibilizado de CIE Plasfil). 20

Figura 2.6 - *Armrest* B (disponibilizado de CIE Plasfil). 21

Figura 2.7 - Fluxograma do ciclo de vida de produção de 1 *armrest* B. 21

Figura 2.8 - *Armrest* J (disponibilizado de CIE Plasfil). 24

Figura 2.9 - Fluxograma do ciclo de vida de produção de 1 *armrest* J. 25

Figura 2.10 - Fluxograma do ciclo de vida de produção de 1 *armrest* J_novo *design*... 27

Figura 3.1 – Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) por puxador de porta do cenário de produção A com destino à França e Rússia. 32

Figura 3.2 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) por puxador de porta do cenário de produção A com destino à França e Rússia. 33

Figura 3.3 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) por puxador de porta do cenário de produção A com destino à França e Rússia. 34

Figura 3.4 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) por puxador de porta do cenário de produção B com destino à França e Rússia. 35

Figura 3.5 - Figura 3.5 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) por puxador de porta do cenário de produção B com destino à França e Rússia. 36

Figura 3.6 - Figura 3.6 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) por puxador de porta do cenário de produção B com destino à França e Rússia. 37

Figura 3.7 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) por puxador de porta do cenário de produção C com destino à França e Rússia. 38

Figura 3.8 Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) por puxador de porta do cenário de produção C com destino à França e Rússia. 39

Figura 3.9 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) por puxador de porta do cenário de produção C com destino à França e Rússia. 40

Figura 3.10 - Comparação dos impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do puxador de porta do cenário de produção A, B e C com destino à França. 41

Figura 3.11 - Comparação dos impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono, Oxidação fotoquímica) do puxador de porta do cenário de produção A, B e C com destino à França 42

Figura 3.12 - Comparação dos impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do puxador de porta do cenário de produção A, B e C com destino à França 43

Figura 3.13 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do *armrest* B. 44

Figura 3.14 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* B. 45

Figura 3.15 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro). Toxicidade humana (sem cancro). Ecotoxicidade) do *armrest* B. 46

Figura 3.16 - Figura 3.16 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global, Acidificação) do *armrest* J. 47

Figura 3.17 - Impactes ambientais (Eutrofização, Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* J. 48

Figura 3.18 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do *armrest* J. 49

Figura 3.19 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do *armrest* J_novo *design*. 50

Figura 3.20 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* J_novo *design*. 51

Figura 3.21 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do *armrest* J_novo *design*. 51

Figura 3.22 - Comparação dos impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do *armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_novo *design*. 53

Figura 3.23 - Comparação dos impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_novo *design*..... 54

Figura 3.24 - Comparação dos impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do *armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_novo *design*..... 55

Figura A.1 - Planeamento e preparação de um ciclo produtivo da CIE Plasfil..... 65

Figura A.2 - Fecho do molde..... 66

Figura A.3 - Fase de injecção e pressurização..... 66

Figura A.4 - Fase de arrefecimento. 66

Figura A.5 - Fase de extracção. 67

Figura C.1 – Reciclagem de matéria-prima da empresa Gecomplast S.L. (disponibilizado de Gecomplast S.L) 71

Figura D.1 - Processo de cataforese (adaptado de Reis. 2008). 73

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características do *input* de matéria-prima do puxador de porta do cenário de produção A,B e C. 17

Tabela 2.2 - Consumos energéticos e de água associados à reciclagem de ABS-PC realizada na Gecomplast S.L. 17

Tabela 2.3 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) do puxador de porta do cenário A, B e C. 18

Tabela 2.4 - Quantidade de peças expedidas do puxador de porta do cenário A. 19

Tabela 2.5 - Fracção de utilização de caixas e paletes com destino a França e à Rússia. 19

Tabela 2.6 - Características do *input* de matéria-prima do *armrest* B. 22

Tabela 2.7 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) do processo de cataforese do *armrest* B. 22

Tabela 2.8 - *Inputs* energéticos do processo de Cataforese do *armrest* B. 23

Tabela 2.9 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) da fase de montagem do *armrest* B. .. 23

Tabela 2.10 - Quantidades de peças expedidas do *armrest* B. 23

Tabela 2.11 - Fracção de utilização de caixas e paletes com destino a Espanha. 24

Tabela 2.12 - Características do *input* de matéria-prima do *armrest* J. 25

Tabela 2.13 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) do processo de produção do *armrest* J. 26

Tabela 2.14 - Quantidades de peças expedidas do *armrest* J. 26

Tabela 2.15 - Fracção de utilização das paletes com destino a França. 27

Tabela 2.16 - Características do *input* de matéria-prima do *armrest* J_novo *design*. 28

Tabela 2.17 - *Inputs* e *Outputs* mássicos do processo de produção do *armrest* J_novo *design*..... 28

Tabela A.1 - Temperaturas e tempos de secagem das matérias-primas. 66

Tabela B.1 - Características mecânicas e térmicas das matérias-primas..... 69

Tabela F.1 - Resultados do ACV do puxador de porta do cenário de produção A para França e Rússia..... 77

Tabela F.2 - Resultados do ACV do puxador de porta do cenário de produção B para França e Rússia..... 78

Tabela F.3 - Resultados do ACV do puxador de porta do cenário de produção C para França e Rússia..... 79

Tabela G.1 - Resultados do ACV do *armrest* B. 81

Tabela G.2 - Resultados do ACV do *armrest* J. 82

Tabela G.3 - Resultados do ACV do *armrest* J_novo *design*..... 82

SIGLAS

ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacte de Ciclo de Vida
CED	Procura de Energia Acumulada (*Cumulative Energy Demand*)
CML	Centro de Ciência Ambiental (*Institute of Environmental Sciences*), Universidade de Leiden, Holanda
CV	Ciclo de Vida
GF	Fibra de Vidro (*Glass Fiber*)
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
NOK	Peças Rejeitadas
PBT	Tereftalato de Polibutileno
PC	Policarbonato
PET	Tereftalato de Polietileno
POM	Poliacetal
PP	Polipropileno
TPV	Elastómero termoplástico à base de PP/EPDM

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento e motivações

A indústria automóvel é um importante sector da economia, o qual tem evidenciado preocupações ambientais. A indústria automóvel tem sido um dos principais precursores a substituir materiais pesados (metais, vidro, etc.) por plásticos reciclados, contribuindo assim para economizar energia, reduzir o uso de combustíveis fósseis e emissões. A avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma metodologia para avaliar os aspectos ambientais e potenciais impactes ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a extracção de matéria-prima, fabrico, uso, fim de vida (reciclagem e deposição final). De acordo com as normas ISO 14040:2006 e 14044:2006, a ACV apoia na:

i) Identificação de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em vários pontos do seu ciclo de vida;

ii) Tomada de decisões pelas indústrias e pelos organismos governamentais e não-governamentais na gestão dos aspectos ambientais envolvidos;

iii) Selecção dos indicadores mais relevantes de eficiência ambiental incluindo os sistemas de aplicação e processos de medição dos mesmos;

iv) Comercialização (*marketing*), incluindo os sistemas de rotulagem ecológica, declaração ambiental ou elaboração de certificação dos produtos/serviços.

A introdução do *ecodesign*[1] ao sector automóvel tem vindo a suscitar grande interesse. O processo de *ecodesign* de um produto é semelhante à concepção de produtos convencionais, mas os aspectos ambientais devem ser incluídos nas várias fases do ciclo de vida do mesmo. Assim, o processo de fabrico inclui as seguintes etapas (Cramer *et al* 1994): tomada das decisões iniciais do desenvolvimento do produto (tendo em atenção os objectivos da empresa em causa); criação e análise de diferentes protótipos; escolha dos melhores protótipos e plano de produção e *marketing* dos mesmos. De forma a coordenar as opções que podem ser aplicadas no processo geral de *ecodesign*, Brezet e Hemel (1997) elaboraram uma roda de estratégias que engloba oito estratégias gerais, apresentadas na Figura 1.1.

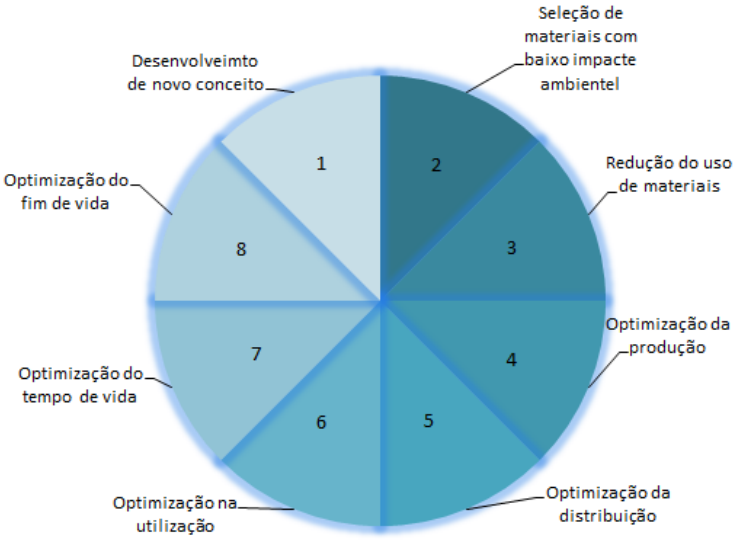

Figura 1.1 - Roda da estratégia de *ecodesign* (adaptado de Hemel e Brezer 1997).

A presente Dissertação de Mestrado surgiu no âmbito da colaboração existente entre a Universidade de Coimbra (em particular do Centro para a Ecologia Industrial) e a empresa CIE Plasfil, que é uma empresa industrial transformadora de plásticos por injecção localizada na Figueira da Foz. Em particular, esta dissertação beneficiou de um projecto actualmente em curso, o projecto EDIL, que tem como principal objectivo integrar na fase de concepção e desenvolvimento de produto a caracterização do

[1]Neste trabalho *ecodesign* consiste na compreensão dos aspectos ambientais que influenciam as decisões de *design* durante todo o ciclo de vida do produto, visando minorar os impactes ambientais dos mesmos.

desempenho ambiental de componentes automóveis plásticos. Neste contexto, a presente dissertação teve como finalidade de apresentar uma ACV de dois tipos de componentes automóveis: puxador de porta e apoio de braço (*armrest*), produzidos na CIE Plasfil.

1.2. CIE Plasfil

1.2.1. História da Empresa e Missão

A empresa Plasfil, fundada a 24 de Março de 1956 e localizada na Figueira da Foz, é uma empresa industrial transformadora de plásticos por injecção. Em 2002, como resultado da união do grupo Egaña e Aforasa, a Plasfil juntou-se ao grupo espanhol-CIE Automotive conhecido como uma referência na vanguarda da indústria automóvel com tecnologias avançadas e assim passou a ser conhecida por CIE Plasfil (Figura 1.2).

Figura 1.2 - Vista aérea da CIE Plasfil (disponibilizado de CIE Plasfil).

Desde a sua formação, esta empresa compromete-se a melhorar de forma contínua todos os processos de forma eficiente, respeitando o ambiente e assegurando a transparência e integridade de todas as suas actividades. Este grupo, de acordo com o princípio de desenvolvimento sustentável, está constantemente preocupado em respeitar o meio ambiente em todas as suas actividades. Deste modo, existe um esforço por manter o equilíbrio necessário entre a sua actividade industrial e o ambiente. Através de

uma atitude de revisão sistemática dos processos de produção, o grupo consegue optimizar os consumos de matéria-prima, água e energia, prevenindo e minimizando assim os impactes ambientais da sua actividade. Assim como forma de prevenir esses impactes, as empresas do grupo CIE Automotive implementaram um sistema de reciclagem que permite reutilizar internamente toneladas de peças que saem com defeitos. Os valores desta empresa estão centrados no respeito pelos seus trabalhadores, criatividade e inovação. Também preservam a transparência pública da sua actividade e minimizam qualquer impacte respeitando o ecossistema.

1.2.2. *Layout* e Descrição do processo produtivo

A CIE Plasfil tem cerca de 225 funcionários e é composta por várias áreas designadas por Naves, sendo que na nave 1 e nave 2 se localizam as máquinas de injecção, na nave 2 encontra-se ainda situado o armazém de matéria-prima, os escritórios, a zona social de refeitório e outro espaço social comum. Na nave 3 localiza-se o armazém das peças acabadas. Na Figura 1.3 observa-se a representação e localização das diferentes naves da empresa.

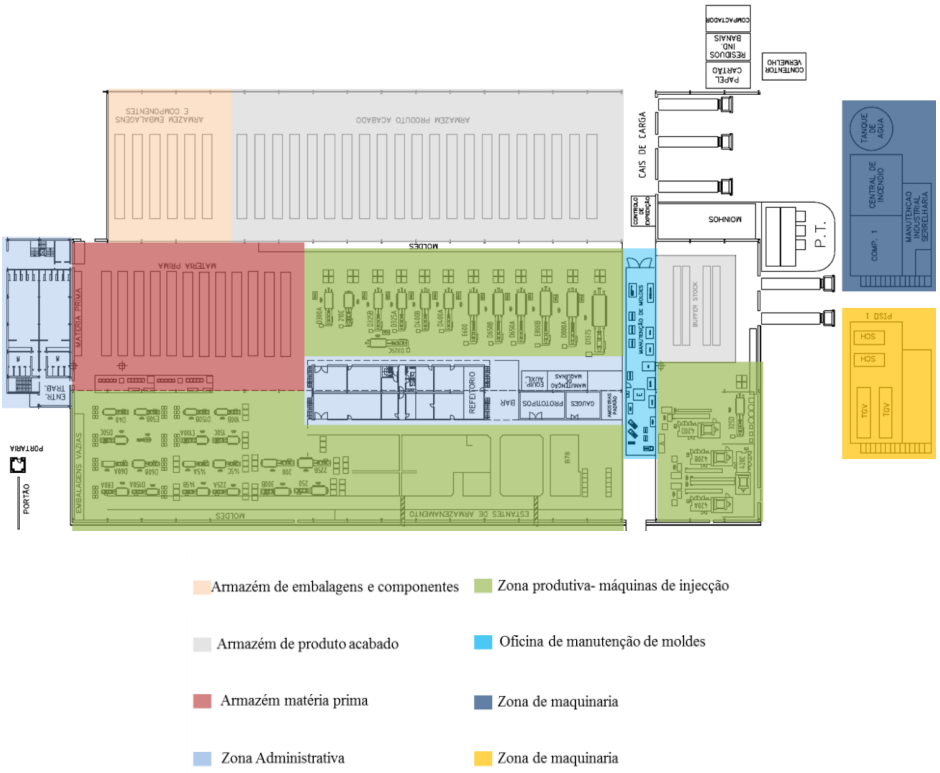

Figura 1.3 - *Layout* da CIE Plasfil.

Os componentes automóveis estudados na presente dissertação são formados maioritariamente por plástico e de modo a compreender-se melhor o seu ciclo, será descrito sucintamente as várias etapas do sistema produtivo da CIE Plasfil.

Inicialmente a matéria-prima (plástico) é fornecida à CIE Plasfil sob a forma de grânulos em sacos com 25 kg ou 1000 kg de capacidade. A matéria-prima antes de direccionada para as máquinas de injecção é colocada em contentores e aspirada por vácuo através de tubos para silos onde é introduzido ar quente entre 60 a 90/100˚C.

De seguida, a matéria-prima é enviada para as máquinas de injecção que contém um sensor de nível que permite controlar a entrada de matéria-prima nas mesmas. Com isto, a matéria-prima entra numa tubagem denominada de fuso onde é aquecida aumentando a sua fluidez para ser posteriormente injectada nos moldes. Uma vez a matéria-prima injectada, segue-se o arrefecimento. A água para esta fase é fornecida por uma unidade produtora de água arrefecida (*chiller*), sendo introduzida no molde a uma temperatura que depende da recomendação do fornecedor da matéria-prima. Depois da peça solidificada, um *robot* pneumático retira-a do molde assim como o jito (material

que fica alojado nos canais de acesso ao molde). Por último as peças são embaladas e transportadas para o armazém do produto final.

Na Figura 1.4 observa-se o esquema simplificado do processo produtivo da CIE Plasfil e no Apêndice A encontra-se o planeamento completo do ciclo produtivo da CIE Plasfil, a tabela das temperaturas e tempos de secagem assim como o esquema da fase de injecção dos polímeros de matéria-prima. As características mecânicas e térmicas das matérias-primas utilizadas no fabrico das peças em estudo encontram-se no Apêndice B.

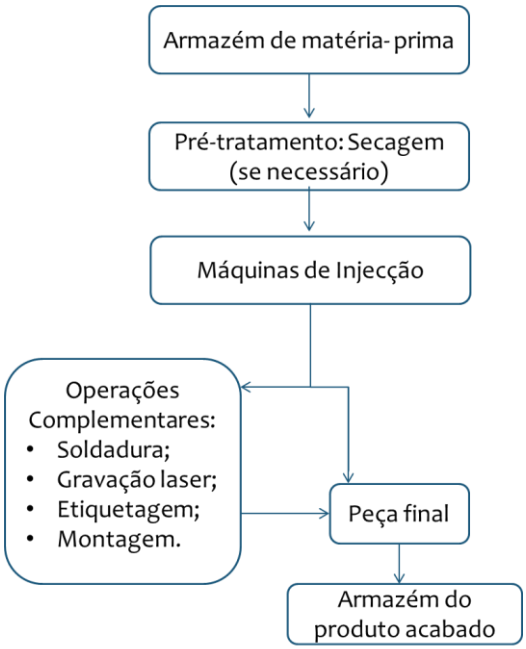

Figura 1.4 - Esquema geral do processo produtivo da CIE Plasfil.

Do processo produtivo apresentado anteriormente é de destacar o processo de injecção que acarreta vantagens e desvantagens à empresa.

As principais vantagens do processo de injecção são:

- Produção de peças de elevada qualidade com velocidades de produção altas;
- Processamento com custos laborais relativamente baixos;
- Produção da peça moldada com bons acabamentos superficiais;
- Processamento automatizado;
- Produção de peças com formas complexas.

Por outro lado, o processo de injecção apresenta as seguintes desvantagens:

- Elevado custo de equipamento faz com que seja necessário a produção de um grande volume de peças de modo a compensar o custo da máquina;
- Rigor no controlo do processo para que se obtenham produtos de qualidade.

1.3. Estado de arte

Como foi referido anteriormente, nos últimos anos, a indústria automóvel tem estado sob forte pressão para reduzir os seus impactes ambientais e, por isso, tem-se verificado uma grande preocupação relativamente aos aspectos sociais, económicos e ambientais, o que despertou o interesse no *ecodesign* de componentes automóveis. Neste contexto, Alves *et al*. (2009) estudaram o uso de compósitos de fibras naturais, produzidos nos países em desenvolvimento, que têm apresentado várias vantagens para projectar componentes automóveis "verdes". Com isto, analisaram a possibilidade de substituir fibras de vidro por fibras de juta natural tratadas e fibras de juta natural não tratadas, para produzir um *capot* frontal estrutural de um veículo (*Buggy*). A juta é uma fibra têxtil de origem vegetal que tem a vantagem de utilizar pouca energia para o seu processamento. Em relação aos resultados, este artigo mostra que as fibras de juta apresentam vantagens da sua aplicação em *Buggy*. Conclui-se então que, de todas as fases do ciclo de vida do produto, a fase de utilização de fibras de juta tratadas e não tratadas aplicadas no *capot* do *Buggy* apresentam um melhor desempenho ambiental do que o *capot* com fibra de vidro.

Cada vez mais tem-se verificado a importância da reciclagem de plásticos no contexto automóvel. Muñoz *et al.* (2006) usaram a avaliação de ciclo de vida (ACV) para avaliar um componente automóvel (um painel de porta de plástico) feito de PVC (policloreto de vinil) e POM (poliacetal) e compararam com um painel de porta de um protótipo feito de PP (polipropileno) reciclado, com base em poliolefinas. Quando o produto actual e o protótipo são comparados, verificaram uma diminuição do impacte ambiental para o protótipo na fase de produção e também no fim da sua vida útil. As fases do ciclo de vida que têm o maior impacte ambiental no componente automóvel actual são a fase de utilização e a fase de produção. A primeira é a mais importante

devido ao aumento do consumo de combustível registado pelo veículo, associado com o peso do produto. Concluiu-se ainda que o impacte ambiental da produção de um protótipo é reduzido em relação ao produto existente, devido à mudança de materiais e ao aumento da capacidade de reciclagem dos aterros. Por outro lado, o impacte na fase de utilização mantém-se praticamente similar para os dois painéis.

Rajendran *et al.* (2011) referem a importância do uso de plásticos reciclados tendo em conta a redução dos impactes e os processos a serem evitados ao longo do ciclo de vida dos plásticos reciclados. Neste artigo é realçada a importância da adição de reforço fibroso aos plásticos reciclados que irá aumentar a potencial taxa de reciclagem. Foram escolhidas, neste estudo, as fibras de vidro e fibras de linho como reforço fibroso onde foi feita a sua comparação com base no potencial de depleção de recurso e de aquecimento global (tendo em conta a sua rigidez equivalente) em relação às suas respectivas alternativas virgens. Os resultados deste estudo indicam que os reforços de plásticos reciclados podem reduzir significativamente o consumo de recursos e o aquecimento global em aplicações civis. Contudo, os compostos produzidos a partir de plásticos virgens continuam a ser uma opção mais sustentável nas actividades do sector automóvel porque implicaram menos impactes ao ambiente.

Vidal *et al.* (2009) também mostraram a importância da reciclagem de plásticos onde o objectivo se baseou na análise dos impactes ambientais de novos materiais obtidos através da combustão de termoplásticos reciclados - Polipropileno (PP) e Polietileno de alta densidade (HPDE) - e resíduos biodegradáveis provenientes da casca de arroz e de algodão reciclado. O impacte ambiental dos materiais de combustão anteriormente mencionados são comparados neste estudo com os termoplásticos virgens (PP e HPDE), usando a metodologia de ACV. Nesta investigação, detectou-se que os compostos em análise (PP e HPDE com resíduos de casca de arroz e de algodão reciclado) exibiram uma redução mínima dos impactes ambientais durante as fases de extracção e produção quando comparados com os materiais termoplásticos virgens. É de salientar que o uso de fertilizantes no cultivo de arroz comprometeu os resultados do composto de casca de arroz na categoria de eutrofização, todavia esta consequência superou os seus compostos convencionais homólogos. Na fase dos resultados, os materiais que inicialmente foram submetidos ao processo de combustão, reflectiram um

adequado desempenho mecânico na aplicação de estruturas usadas na aquacultura. As conclusões deste estudo evidenciaram uma redução significativa dos impactes ambientais em análise comparativamente com os termoplásticos virgens convencionais, tendo em conta uma unidade funcional de 1 kg de material.

Ribeiro *et al*. (2007) realizaram uma avaliação de ciclo de vida de um componente automóvel associado ao sistema de travagem de um veículo. Comparam o componente original (formado maioritariamente por aço, borracha vulcanizada e o termoplástico POM) com um componente constituído por materiais recicláveis (termoplástico TPV, PA66, arame e aço). A unidade funcional usada nesta avaliação é um componente com uma vida útil de 150 000 km. Como verificado em outros estudos, a fase de uso é aquela que acarreta maiores impactes no ambiente, contribuindo para a depleção abiótica, aquecimento global, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização. Constatou-se que em relação ao cenário de referência, a fase de utilização contribui com 66% do consumo total de energia através de todo o ciclo de vida, enquanto no cenário alternativo a fase de utilização é responsável por 64% de toda a energia consumida. Na fase de produção, o consumo de energia é relativamente maior para o cenário de referência devido à quantidade usada de plástico e de aço nos sub-processos de produção, e consequentemente na fase de transporte (distâncias percorridas). Nesta mesma fase, as emissões de SOx são maiores em ambos os cenários e estão sobretudo relacionadas com a produção de energia elétrica, os processos realizados nas refinarias (como a queima de óleo residual) e com a produção de PA66 no cenário alternativo. A análise de sensibilidade realizada neste estudo permite confirmar, como conclusão principal, que o cenário alternativo é ambientalmente preferível quando comparado com o cenário de referência.

De forma a fundamentar a presente dissertação, foi tido em conta o projecto EDIL (ainda em curso), que visa integrar na fase de concepção e desenvolvimento de produto a caracterização do desempenho ambiental de componentes automóveis plásticos a desenvolver na CIE Plasfil, traduzindo-se este projecto numa importante vantagem competitiva desta empresa em relação aos seus concorrentes. Também, esta tese se baseou no artigo Ferreira *et al.* (2013) com a finalidade de melhorar o inventário

estudado, o qual apresenta uma comparação de dois apoios de braço (*armrest*) automóveis produzidos na CIE Plasfil. O *armrest* B que é composto maioritariamente por aço e tem uma pequena quantidade de poliacetal (POM) e polipropileno (PP) e o *armrest* J que é constituído na maioria por PBT PET GF30 (tereftalato de polibutileno e tereftalato de polietileno e 30% de fibras de vidro) e uma pequena quantidade de aço. Os componentes foram comparados e constatou-se que, na fase de produção, o *armrest* J apresenta maiores impactes ambientais nas categorias de depleção abiótica, acidificação, eutrofização, aquecimento global e na depleção da camada de ozono. Por outro lado, o *armrest* B apresenta maiores impactes ambientais na categoria de oxidação fotoquímica. Na categoria de eutrofização, os impactes de ambas as peças são equivalentes.

Ferreira *et al.* (2013) analisam também a pegada de carbono para o ciclo de vida completo (incluindo o uso) dos componentes automóveis em causa considerando-se 100 000 km para o seu período de vida útil, sendo que o *armrest* B apresenta mais 2,2 kg de CO_2 equivalente comparativamente ao *armrest* J. Para outro cenário de 300 000 km, o *armrest* B apresenta mais 8,7 kg de CO_2 equivalente na fase de uso quando comparado com o *armrest* J. No entanto, considerando-se só a fase de produção, o *armrest* J apresenta mais impactes ambientais do que o *armrest* B devido ao maior requisito energético que as matérias-primas plásticas necessitam para a sua produção. A fase de uso é a responsável pela alteração do *armrest* com maior impacte devido às reduções do consumo de combustível associadas ao *armrest* J, que consequentemente originam uma menor pegada de carbono.

1.4. Objectivos

A presente dissertação tem como objectivo principal calcular os impactes ambientais associados à produção de dois tipos de componentes plásticos automóveis produzidos na empresa CIE Plasfil, através da metodologia de ACV. Será realizada uma análise desde a fase do fornecedor de matéria-prima até à última fase, sendo ela o receptor da peça, incluindo os respectivos transportes e destacando-se a fase de produção, para se perceber quais são as principais contribuições para os impactes e

oportunidades de melhoria na produção dos produtos automóveis em estudo: puxador de porta e *armrest* (apoio de braço). Neste estudo a unidade funcional definida é um componente automóvel. Para se atingir o objectivo principal são necessários vários objectivos mais específicos:

No que diz respeito ao puxador de porta, irá ser feita uma distinção entre três tipos de puxador de porta: puxador de porta formado por ABS-PC virgem (cenário de produção A), puxador de porta formado por ABS-PC virgem e ABS-PC reciclado internamente na CIE Plasfil (cenário de produção B) e puxador de porta onde a matéria-prima é composta por ABS-PC reciclado externamente e internamente na CIE Plasfil (cenário de produção C).

Para o *armrest* serão estudados três tipos de cenários: um *armrest* constituído com aço (*armrest* B) e outros dois constituídos por diferentes tipos de plástico (*armrest* J e *armrest* J_novo *design*). Assim, neste estudo pretende-se comparar alternativas produzidas com plástico a produtos convencionais e, deste modo, estudar e compreender quais os melhores cenários para minimizar os impactes ambientais dos dois componentes automóveis. Para esta análise, serão estudados os processos de fabrico associados às três peças assim como todas as fases do seu ciclo de vida até à unidade receptora de montagem automóvel. Para ambos os estudos, a fase de uso será ignorada uma vez que o foco principal é a fase de produção da CIE Plasfil.

1.5. Estrutura da dissertação

Esta dissertação divide-se em 4 capítulos, incluindo o capítulo introdutório onde constam o enquadramento e motivações do estudo, uma breve descrição da empresa CIE Plasfil e descrição do respectivo processo produtivo. Também no primeiro capítulo encontra-se o estado de arte acerca do assunto em análise seguido dos objectivos da presente dissertação. O capítulo 2 contempla os casos de estudo a serem investigados nesta dissertação, distinguindo-se o inventário dos puxadores de porta e dos *armrest*. A análise de resultados está presente no capítulo 3, seguida da conclusão e de sugestões para trabalhos futuros no capítulo 4.

2. MODELO E INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DE 2 TIPOS DE COMPONENTES

Neste capítulo analisa-se o ciclo de vida de dois tipos de componentes automóveis: puxador de porta e apoio de braço *(armrest),* produzidos na CIE Plasfil. O ciclo de vida destas peças passa pela aquisição de matéria-prima, fabrico (produção e montagem), distribuição e também o transporte que todas elas têm associado.

2.1. Inventário do puxador de porta: 3 cenários de produção (A, B e C)

O objectivo desta secção é analisar o ciclo de vida do puxador de porta identificando as fronteiras do sistema, as principais etapas de ciclo de vida e os respectivos fluxos de entrada e de saída, a partir de um inventário completo dos diferentes processos. Para esta análise foram desenvolvidos modelos de ciclo de vida tendo por unidade funcional: 1 puxador de porta.

Consideram-se nesta avaliação três cenários distintos tendo em conta todas as fases que constituem o processo de produção do mesmo. O puxador de porta do cenário de produção A refere-se a uma peça formada por ABS-PC virgem, o caso do cenário de produção B descreve um puxador de porta parcialmente reciclado formado por ABS-PC virgem e ABS-PC reciclado internamente na CIE Plasfil e puxador de porta do cenário de produção C retrata uma peça onde a matéria-prima é composta por ABS-PC reciclado externamente e internamente na CIE Plasfil. Em todos os cenários, o puxador de porta é um componente automóvel composto por um *blending* de dois termoplásticos (ABS e PC) sendo também composto por 5 componentes (3 *clips* e 2 r*ivets*) de aço. Na Figura 2.1 apresenta-se o puxador de porta considerado.

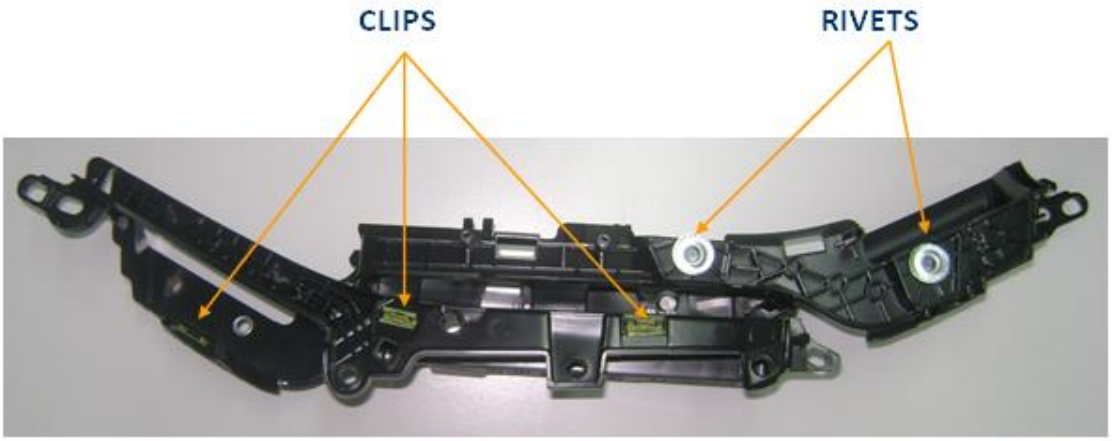

Figura 2.1 - Puxador de porta (disponibilizado de CIE Plasfil).

Para se compreender as características dos diferentes cenários de produção, segue-se uma descrição e o fluxograma dos mesmos.

O cenário A refere-se a um puxador de porta formado com matéria-prima virgem (ABS-PC). A matéria-prima virgem entra no processo de injecção, sendo que deste processo se obtém uma peça de puxador de porta de plástico virgem mas também jitos (material que fica alojado nos canais de acesso ao molde). No processo de injecção também foram contabilizadas as peças que não têm os requisitos necessários de qualidade e que são, portanto, rejeitadas (definidas como peças NOK). Posteriormente, para o acabamento final da peça são montados 5 componentes de aço (*clips* e *rivets*). Em cada fase do ciclo de produção está associado a produção de dois puxadores de porta mas, tendo em conta a unidade funcional (um puxador de porta), o consumo energético é de 127,9 Wh/peça, determinado a partir da potência nominal da máquina de injecção (25 kW) que varia ao longo do processo devido aos ciclos de aquecimento e arrefecimento associados ao mesmo e sabendo que o tempo de injecção de uma peça é de 61,4 s. A Figura 2.2 representa o processo de produção do cenário A.

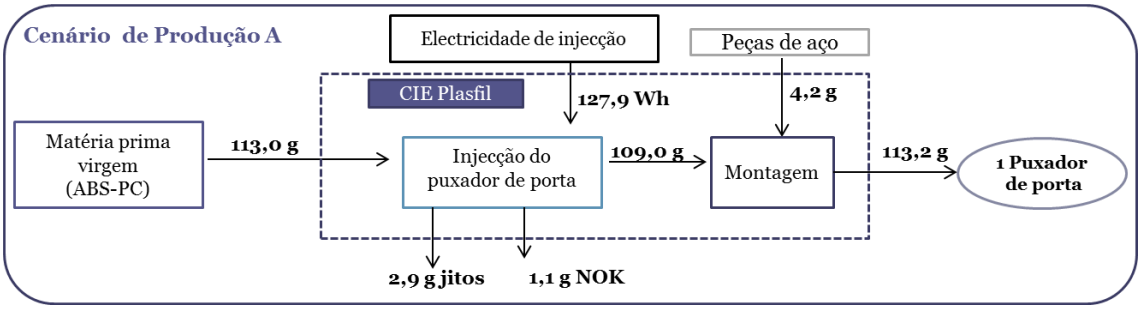

Figura 2.2 - Fluxograma do processo de produção de um puxador de porta com matéria-prima plástica 100% virgem (cenário de produção A).

O cenário B (Figura 2.3) descreve o ciclo de produção de um puxador de porta formado por matéria-prima virgem e pela incorporação de jitos. Em termos mássicos, assume-se que o *input* que entra no processo de produção está associado à matéria-prima virgem e à incorporação dos jitos (matéria-prima reciclada) da matéria-prima total que é utilizada para produzir 1 peça nas condições do cenário A (113,0 g). Neste caso, o valor de massa correspondente à matéria-prima virgem é de aproximadamente 110,1 g e o valor de jitos incorporados é de 2,9 g. Neste cenário, os consumos energéticos da fase de injecção do ABS-PC são os mesmos que no cenário A. Para a posterior incorporação dos jitos na máquina de injecção, utiliza-se uma trituradora que consome 0,10 Wh/jito, estando-lhe associada uma potência de 12,5 kW.

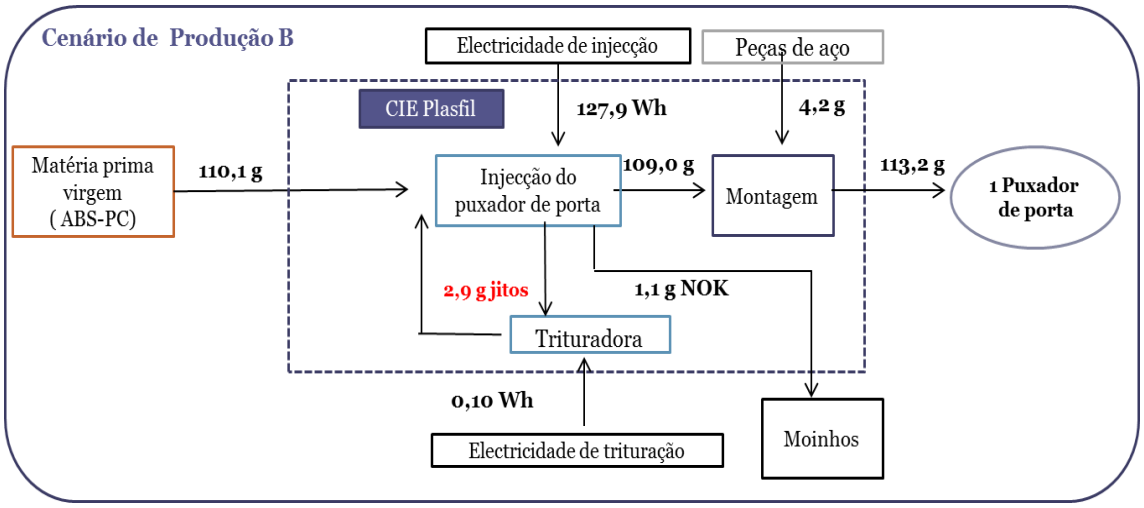

Figura 2.3 - Fluxograma do processo de produção de um puxador de porta com matéria-prima plástica virgem e incorporação de plástico reciclado internamente (cenário de produção B).

O cenário C (Figura 2.4) refere-se a um puxador de porta formado por matéria-prima reciclada (ABS-PC) e pela integração de jitos. Os *inputs* e *outputs* de matéria-prima deste cenário são similares aos do cenário B. Os dados do processo de reciclagem de ABS-PC que ocorre na Gecomplast S.L são subestimados uma vez que só são tidos em conta os consumos de água e de energia eléctrica. Em relação a este processo, todos os *inputs* e *outputs* associados ao processo primário de produção de ABS-PC foram ignorados, logo neste cenário o seu ciclo de vida inicia-se na reciclagem de ABS-PC.

Os consumos de energia da máquina de injecção e da trituradora aquando da produção da peça são os mesmos do cenário B (127,9 Wh/peça e 0,10 Wh/peça), pois as características do material que produz o puxador de porta deste cenário não interferem com o consumo de energia de todo o processo de produção.

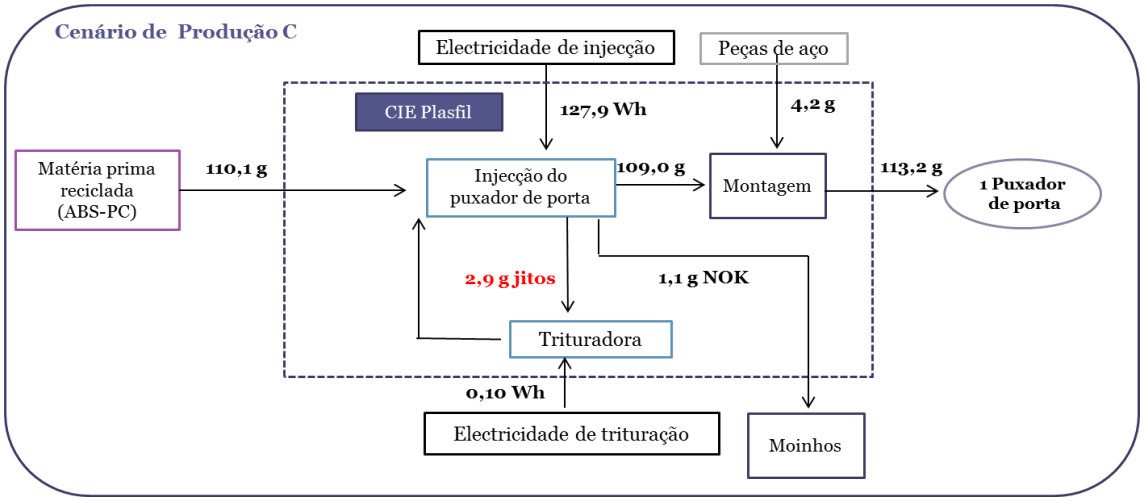

Figura 2.4 - Fluxograma do processo de produção de um puxador de porta com matéria-prima plástica reciclada externamente e incorporação de plástico reciclado internamente (cenário de produção C).

O inventário é a fase de um estudo de ACV que se destina a compreender e avaliar a magnitude e a importância dos potenciais impactes ambientais do sistema em estudo. Trata-te de uma compilação dos *inputs* e *outputs* do sistema do produto ao longo do seu ciclo de vida. A recolha de dados visa quantificar em especial os fluxos de massa, matéria-prima e auxiliares associados a cada processo singular.

A Tabela 2.1 representa a quantidade de matéria-prima, o fornecedor e os quilómetros percorridos até à CIE Plasfil dos cenários de produção A, B e C.

Tabela 2.1 - Características do *input* de matéria-prima do puxador de porta do cenário de produção A,B e C.

Cenário de Produção	Matéria-Prima	Peso (g)	Fornecedor	Distância (km)
A	ABS-PC virgem	113,0	Sabic - Alemanha	2160
			CIE Plasfil - Portugal	
B	ABS-PC virgem	110,1	Sabic - Alemanha	2160
			CIE Plasfil - Portugal	
	Jitos	2,9	CIE Plasfil - Portugal	-
C	ABS-PC reciclado	110,1	Gecomplast S.L. - Espanha	887
			CIE Plasfil - Portugal	
	Jitos	2,9	CIE Plasfil - Portugal	-

O puxador de porta do cenário de produção C é constituído por ABS-PC reciclado, a Tabela 2.2 apresenta os gastos energéticos e de água associados ao processo de reciclagem, obtidos da empresa Gecomplast S.L no ano de 2014, sendo que o fluxograma deste processo se encontra no Apêndice C.

Tabela 2.2 - Consumos energéticos e de água associados à reciclagem de ABS-PC realizada na Gecomplast S.L.

Matéria-prima reciclada	
Consumo de energia eléctrica (Wh/ kg produzido)	500
Consumo de água (kg/ kg produzido)	0,04

A Tabela 2.3 representa os *input*s e *outputs* mássicos associados aos cenários de produção A, B e C. É de salientar que para os cenários B e C não constam os *inputs* e *outputs* de jitos pois eles estão sistematicamente integrados na fase de injecção.

Tabela 2.3 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) do puxador de porta do cenário A, B e C.

		Quantidade (g/peça)
Cenário de Produção A	***Inputs* mássicos**	
	ABS-PC virgem	113,0
	Peças de aço	4,2
	Total	117,2
	***Outputs* mássicos**	
	Perdas	1,1
	Jitos	2,9
	Peça (plástico + aço)	109,0 + 4,2
	Total	117,2
Cenário de Produção B	***Inputs* mássicos**	
	ABS-PC virgem	110,1
	Peças de aço	4,2
	Total	114,3
	***Outputs* mássicos**	
	Perdas	1,1
	Peça (plástico + aço)	109,0 + 4,2
	Total	114,3
Cenário de Produção C	***Inputs* mássicos**	
	ABS-PC reciclado	110,1
	Peças de aço	4,2
	Total	114,3
	***Outputs* mássicos**	
	Perdas	1,1
	Peça (plástico + aço)	109,0 + 4,2
	Total	114,3

Os *inputs* energéticos associados aos cenários de produção A, B e C são de 127,9 Wh/peça no processo de injecção e de 0,10 Wh/peça no processo de trituração dos jitos.

Tendo em conta os anos de 2011, 2012, 2013 e 2014, a Tabela 2.4 apresenta as quantidades de peças expedidas, assim como as unidades receptoras das mesmas.

Tabela 2.4 - Quantidade de peças expedidas do puxador de porta do cenário A.

Unidades receptoras	**Distância (km)**	**Quantidades expedidas (peça)**
Faurecia - França	1960	567810
Faurecia - Rússia	4344	141379

O percurso de transporte associado ao fornecimento de matéria-prima e à distribuição da peça é feito por camião e, para tal utilizam-se caixas de plástico retornável e paletes de plástico para França e caixas de cartão não retornável e paletes de madeira para a Rússia. Desta forma, calcula-se a fracção de caixa ou palete utilizada por uma peça durante o seu ciclo de vida tendo em conta o mesmo tempo de vida útil das caixas e a quantidade transportada nesse período de tempo. Considerou-se para tal as quantidades expedidas dos últimos 4 anos (2011, 2012, 2013 e 2014) e 10 anos de vida útil para a caixa de plástico e para as caixa de cartão, 7 anos de vida útil para as paletes de plástico e 5 anos de vida útil para as paletes de madeira. A Tabela 2.5 apresenta a fracção de utilização de caixas e paletes usadas no transporte dos puxadores de porta dos cenários de produção A, B e C com destino a França e Rússia.

Tabela 2.5 - Fracção de utilização de caixas e paletes com destino a França e à Rússia.

Fracção de utilização		
	França	Rússia
Caixa de plástico	$1{,}76 \times 10^{-7}$	-
Palete de plástico	$2{,}51 \times 10^{-7}$	-
Palete de madeira	-	$1{,}41 \times 10^{-6}$

2.2. Apoio de braço (*armrest*)

Os apoios de braço *(armrest* B e *armrest* J*)* representados na Figura 2.5 são constituídos respectivamente por aço e por plástico. Apesar destes dois cenários, neste subcapítulo, estuda-se também um terceiro cenário (*armrest* J_novo *design*) que representa uma melhoria, em termos de peso e de matéria-prima, do *design* do *armrest* J. Para a análise ambiental destes cenários, assume-se que a unidade funcional é: 1 *armrest*.

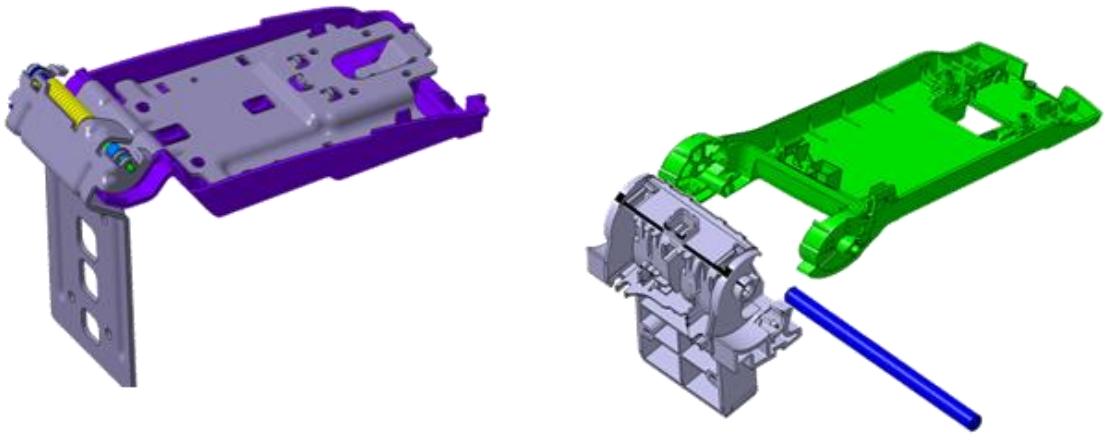

Figura 2.5 - *Armrest* B e *Armrest* J (disponibilizado de CIE Plasfil).

2.2.1. Inventário do *armrest* B (aço)

O *armrest* B, cuja peça se apresenta na Figura 2.6, é uma peça automóvel formada por aço e por polipropileno, com uma área de superfície de 0,041 m^2, sendo que durante o seu processamento, passa por um processo de pintura designado por cataforese. Este processo abrange duas fases gerais: fase de pré-tratamento e fase de pintura. Na primeira fase, a peça sofre um tratamento de desengorduramento e uma posterior transferência para o tanque de activação onde se inicia a preparação da tinta. De seguida, a peça já pintada sofre um processo de anti corrosão para aumentar a aderência

da tinta implementada. A segunda fase composta pela etapa da cataforese envolve a electrodeposição catódica, em que, as partículas de tinta carregadas positivamente deslocam-se até à peça e reagem com os grãos, formando uma película de tinta que vai proteger a peça da corrosão. Finalmente a peça é seca e, após a fase de lavagem da mesma, a tinta é polimerizada num forno a elevadas temperaturas, apresentando um revestimento duro e aderente. Ao processo de cataforese estão associadas significativas quantidades de tintas e de outras substâncias, bem como importantes quantidades de água. O consumo energético deste processo é de 8260 Wh/peça.

No Apêndice D encontra-se com mais detalhe o processo de Cataforese incluindo o respectivo esquema. A Figura 2.7 apresenta o esquema de produção do *armrest* B.

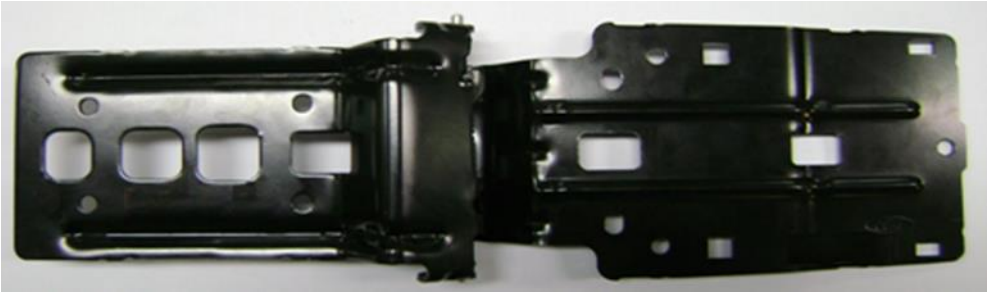

Figura 2.6 - *Armrest* B (disponibilizado de CIE Plasfil).

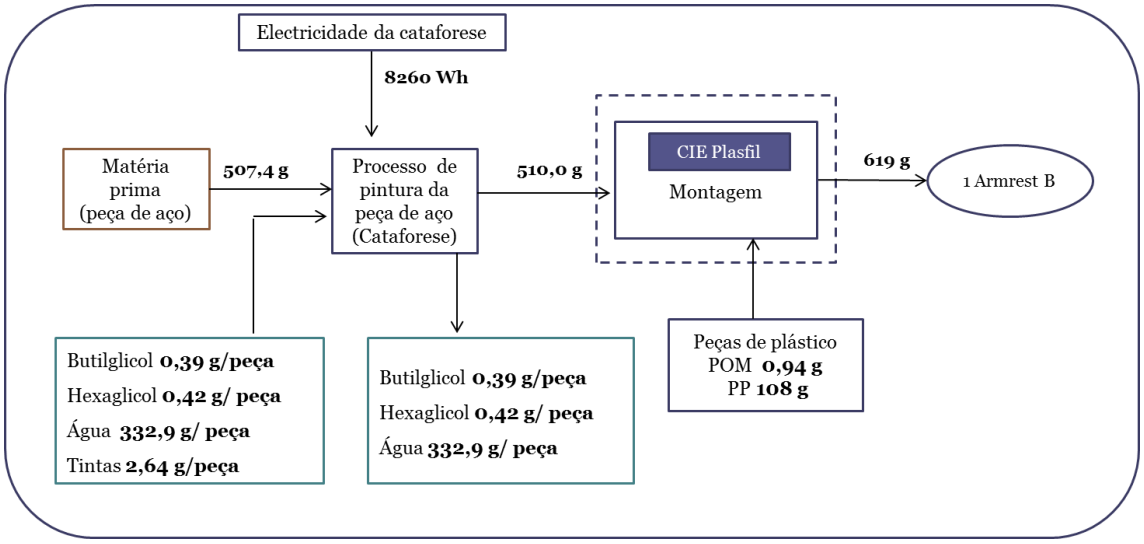

Figura 2.7 - Fluxograma do ciclo de vida de produção de 1 *armrest* B.

A Tabela 2.6 apresenta quais as matérias-primas que compõe o *armrest* B assim como as suas quantidades, os fornecedores e os quilómetros associado ao transporte até chegar ao destino (CIE Plasfil).

Tabela 2.6 - Características do *input* de matéria-prima do *armrest* B.

Matéria-prima	**Peso (g)**	**Fornecedor**	**Distância (km)**
Peça de aço	507,4	CIE Udalbide - Espanha	1773
		Caetano Coatings S.A. - Portugal	
		Cie Plasfil - Portugal	
PP	108	Basel - Espanha	1106
		Cie Plasfil - Portugal	
POM	0,94	Ticona - Alemanha	2065
		Augusto Guimarães - Portugal	
		Cie Plasfil - Portugal	

A Tabela 2.7 apresenta os *inputs* e *outputs* mássicos ao processo de cataforese do *armrest* B. Os dados foram obtidos pela empresa Caetano Coatings S.A.

Tabela 2.7 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) do processo de cataforese do *armrest* B.

	Quantidade (g/ peça)
***Inputs* mássicos**	
Aço	507,4
Butilglicol	0,39
Hexaglicol	0,42
Água	332,9
Tintas	2,64
***Outputs* mássicos**	
Butilglicol	0,39
Hexaglicol	0,42
Água	332,9
Peça de aço	510

A Tabela 2.8 apresenta os *inputs* energéticos do processo de cataforese do *armrest* B.

Tabela 2.8 - *Inputs* energéticos do processo de Cataforese do *armrest* B.

***Inputs* energéticos (Wh/peça)**	
Energia eléctrica	8260

A Tabela 2.9 mostra os *inputs* e *outputs* mássicos associados à fase de montagem do *armrest* B que se efectua na CIE Plasfil.

Tabela 2.9 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) da fase de montagem do *armrest* B.

	Quantidade (g/peça)
***Inputs* mássicos**	
Peça de aço	510
PP	108
POM	0,94
Total	619
***Outputs* mássicos**	
Peça *armrest B*	619

Na Tabela 2.10 apresenta-se a unidade receptora do *armrest* B e a respectiva distância associada ao transporte.

Tabela 2.10 - Quantidades de peças expedidas do *armrest* B.

Unidade receptora	**Distância (km)**	**Quantidades expedidas (peça)**
Faurecia Almussafes - Espanha	916	143277

O fornecimento de matéria-prima e a distribuição da peça são feitos por camião e para transportar as peças utilizam-se caixas de plástico retornável e paletes de plástico

para Espanha. Desta forma e como anteriormente, calcula-se a fracção de utilização e para isso considerou-se 10 anos de vida útil para a caixa de plástico e 7 anos de vida útil para a palete de plástico. A Tabela 2.11 apresenta a fracção utilizada das caixas e paletes que transportam o *armrest* B com destino a Espanha.

Tabela 2.11 - Fracção de utilização de caixas e paletes com destino a Espanha.

Fracção de utilização	
	Espanha - Valencia
Caixa de plástico	$1{,}30 \times 10^{-6}$
Palete de plástico	$1{,}86 \times 10^{-6}$

2.2.2. Inventário do *armrest* J (plástico)

O *armrest* J é uma peça constituída por dois componentes principais (*structure* e *charnière*) moldados em termoplástico PBT PET GF30 (mistura de tereftalato de polibutileno, tereftalato de polietileno e fibra de vidro a 30%). O componente plástico é moldado por injecção e, de seguida, são anexadas componentes de aço que completam a estrutura da peça. Neste ciclo de produção, o consumo de energia eléctrica total é de 544,4 Wh/peça, tendo em conta que a máquina que produz a *structure* consome 291,1 Wh num tempo de produção de 75 s e que a máquina que produz a *charnière* consome 253,3 Wh num tempo de fabrico de 65 s. A Figura 2.8 representa o *armrest* J e a Figura 2.9 apresenta o cenário de produção do *armrest* J.

Figura 2.8 - *Armrest* J (disponibilizado de CIE Plasfil).

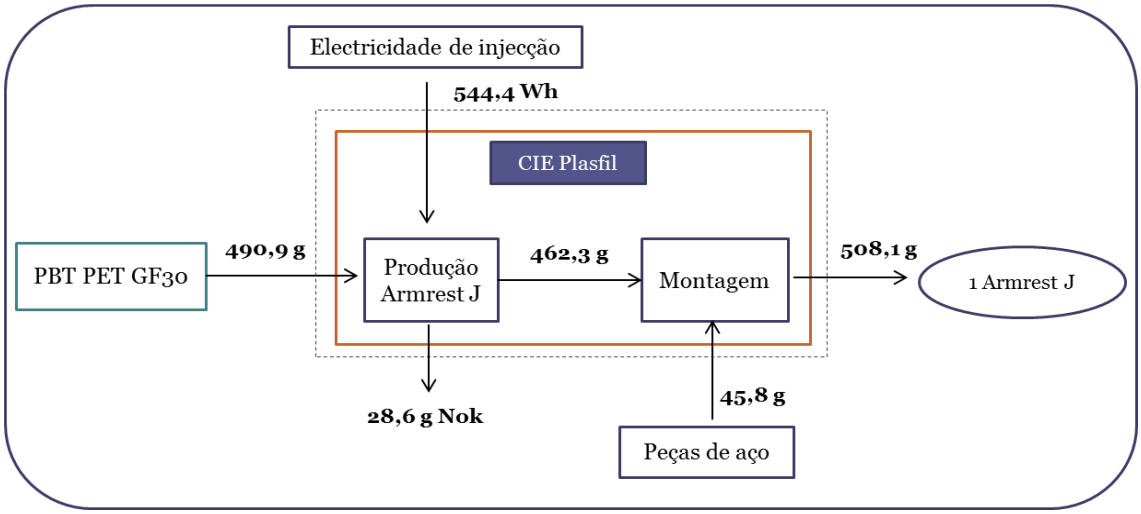

Figura 2.9 - Fluxograma do ciclo de vida de produção de 1 *armrest* J.

A Tabela 2.12 apresenta as matérias-primas e as quantidades que formam o *armrest* J assim como as distâncias percorridas dos fornecedores até à CIE Plasfil.

Tabela 2.12 - Características do *input* de matéria-prima do *armrest* J.

Matéria-prima	**Peso (g)**	**Fornecedor**	**Distância (km)**
PBT PP GF30	490,9	Sabic Innovative Plastics - Holanda	2099
		Augusto Guimarães - Portugal	
		CIE Plasfil - Portugal	
Aço	45,8	Luís da Graça - Portugal	204
		CIE Plasfil - Portugal	

Os *inputs* e *outputs* mássicos associados à produção do *armrest* J estão descritos na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - *Inputs* e *Outputs* mássicos (g/peça) do processo de produção do *armrest* J.

	Quantidade (g/peça)
***Inputs* mássicos**	
PBT PET GF30	490,9
Aço	45,8
Total	536,7
***Outputs* mássicos**	
Perdas	28,6
Peça	508,1
Total	536,7

Os *inputs* energéticos associados à produção do *armrest* J são de 544,4 Wh/peça.

A Tabela 2.14 mostra a unidade receptora do *armrest* J e a quantidade que esta adquiriu nos anos 2011, 2012, 2013 e 2014.

Tabela 2.14 - Quantidades de peças expedidas do *armrest* J.

Unidades receptoras	**Distância (km)**	**Quantidades expedidas (peça)**
Visteon - França	1823	107714

Para o transporte das peças até ao cliente utilizam-se caixas de cartão não retornável e paletes de madeira. Desta forma, calcula-se a fracção de utilização para a palete de madeira assumindo uma vida útil de 5 anos e no caso da caixa de cartão, como é não retornável, o cálculo da fracção de utilização não se justifica pois ela só faz uma viagem e assim utilizamos 14,3 g da caixa cujo peso é de 300g. A Tabela 2.15 apresenta a fracção de utilização das paletes que transportam o *armrest* J com destino França.

Tabela 2.15 - Fracção de utilização das paletes com destino a França.

Fracção de utilização	
	França- Gondecourt
Caixa de cartão	-
Palete de madeira	$1{,}73\times10^{-6}$

2.2.3. Inventário do *armrest* J _ novo *design* (plástico)

Tendo em conta a minimização de impactes ambientais e menores custos, a CIE Plasfil está a iniciar um estudo alternativo ao *armrest* J. Neste estudo, foram realizadas alterações no tipo de matérias-primas utilizadas e o seu peso. Assim, o *armrest J_novo design* é uma peça semelhante à anterior com a excepção do peso e da matéria-prima que constitui a *charnière* (PP GF30). O processo de produção desta peça é idêntico ao anterior, diferindo na quantidade de matéria-prima que intervém no fabrico da *charnière*, assim o consumo de energia eléctrica associado à fase de produção do *armrest J_novo design* é de 466,6 Wh/peça. Nesta etapa de produção existem perdas de 26,6 g, que resultam do conjunto de peças rejeitadas de ambas as matérias-primas. A Figura 2.10 retrata o cenário relativo ao ciclo de vida do *armrest* J com o novo *design.*

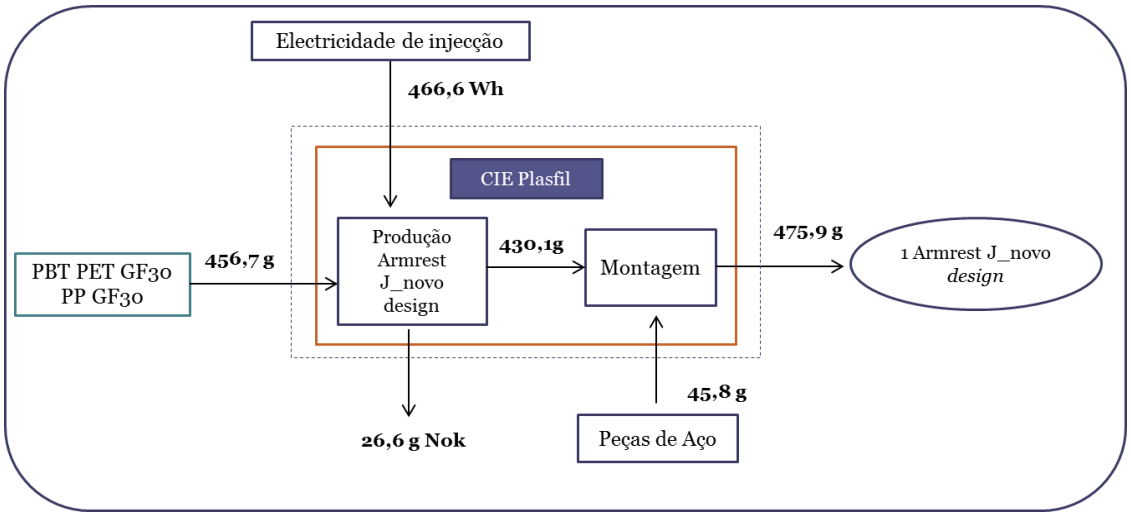

Figura 2.10 - Fluxograma do ciclo de vida de produção de 1 *armrest* J_novo *design*.

Na Tabela 2.16 estão representadas as matérias-primas que constituem o *armrest* J_novo *design* e os seus fornecedores e distâncias percorridas até ao destino (CIE Plasfil).

Tabela 2.16 - Características do *input* de matéria-prima do *armrest* J_novo *design*.

Matéria-prima	**Peso (g)**	**Fornecedor**	**Distância (km)**
PBT PP GF30	300,7	Sabic - Holanda	2099
		Augusto Guimarães - Portugal	
		CIE Plasfil - Portugal	
PP GF30	156,0	Taroplast - Itália	2065
		CIE Plasfil - Portugal	
Aço	45,8	Luís da Graça - Portugal	204
		CIE Plasfil - Portugal	

A Tabela 2.17 representa os *inputs* e *outputs* mássicos associados ao ciclo de vida do *armrest* J_novo *design*.

Tabela 2.17 - *Inputs* e *Outputs* mássicos do processo de produção do *armrest* J_novo *design*.

	Quantidade (g/peça)
***Inputs* mássicos**	
PBT PET GF30	456,7
PP GF30	
Aço	45,8
Total	502,5
***Outputs* mássicos**	
Perdas	26,6
Peça	475,9
Total	502,5

Os *inputs* energéticos associados à produção do *armrest* J_novo *design* são de 466,6 Wh/peça.

Neste estudo assume-se que a unidade receptora, as quantidades expedidas e a fracção de utilização são as mesmas que do *armrest* J, tendo em conta que as características que as distingue são a composição da matéria-prima e o peso da peça.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

A avaliação/análise dos impactes ambientais inclui a selecção das categorias de impacte ambiental e do método de avaliação a usar, a classificação (especificação de quais as categorias de impacte ambiental e para que categorias cada intervenção contribui) e a caracterização (cálculo dos contributos das diversas intervenções ambientais para cada categoria de impacte). Na secção 3.1, apresentam-se a avaliação ambiental (CML 2 *baseline* 2000), avaliação energética (CED) e de toxicidade (USEtox) dos três cenários de produção dos puxadores de porta. Na secção 3.2 apresentam-se os resultados de avaliação ambiental para as três alternativas de apoio de braço (*armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_*novo design*). No Apêndice E encontra-se a descrição do *software* utilizado (SimaPro 7) assim como dos métodos de avaliação e nos Apêndices F e G observam-se os resultados de ACV dos puxadores de porta e dos *armrest* respectivamente.

3.1. Puxador de porta

3.1.1. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do puxador de porta: cenário de produção A

A Figura 3.1 apresenta os resultados referentes à contribuição dos impactes associados ao ciclo de vida do puxador de porta do cenário de produção A. As unidades receptoras são a empresa Faurecia situada em França e Rússia.

Na categoria de energia primária, verifica-se que a fase do transporte da peça até à Rússia é a que causa maior impacte ambiental. Também, para o mesmo destino, se verifica que a caixa de cartão contribui com um impacte ambiental de 0,26 MJ, o que se deve ao consumo de energia utilizado na sua produção. Na categoria de depleção

abiótica a produção de ABS-PC é o maior contribuinte para esta categoria (64%) devido essencialmente ao consumo de carvão.

Na categoria de aquecimento global, a produção do ABS-PC, transporte do ABS-PC até à CIE Plasfil e o consumo de electricidade gasto na injecção apresentam os contributos ambientais de 0,8 kg CO_2 eq, 0,11 kg CO_2 eq e 8,03E-02 kg CO_2 eq, respectivamente. Nesta categoria o transporte do puxador de porta até à Rússia apresenta um contributo de 16%, enquanto que até França contribui com 9% para esta categoria.

Na acidificação, a fase de produção de ABS-PC (França e Rússia) apresenta um impacte igual de 2,61E-03 kg SO_2 eq, devido às emissões de dióxido de enxofre. Do mesmo modo, a fase do transporte de ABS-PC até à CIE Plasfil apresenta um impacte de 3,35E-04 kg SO_2 eq devido às emissões de óxido de azoto. O transporte da peça até à Rússia contribui com um impacte ambiental de 15% (6,75E-04 kg SO_2 eq) devido às emissões de óxido de azoto para a atmosfera.

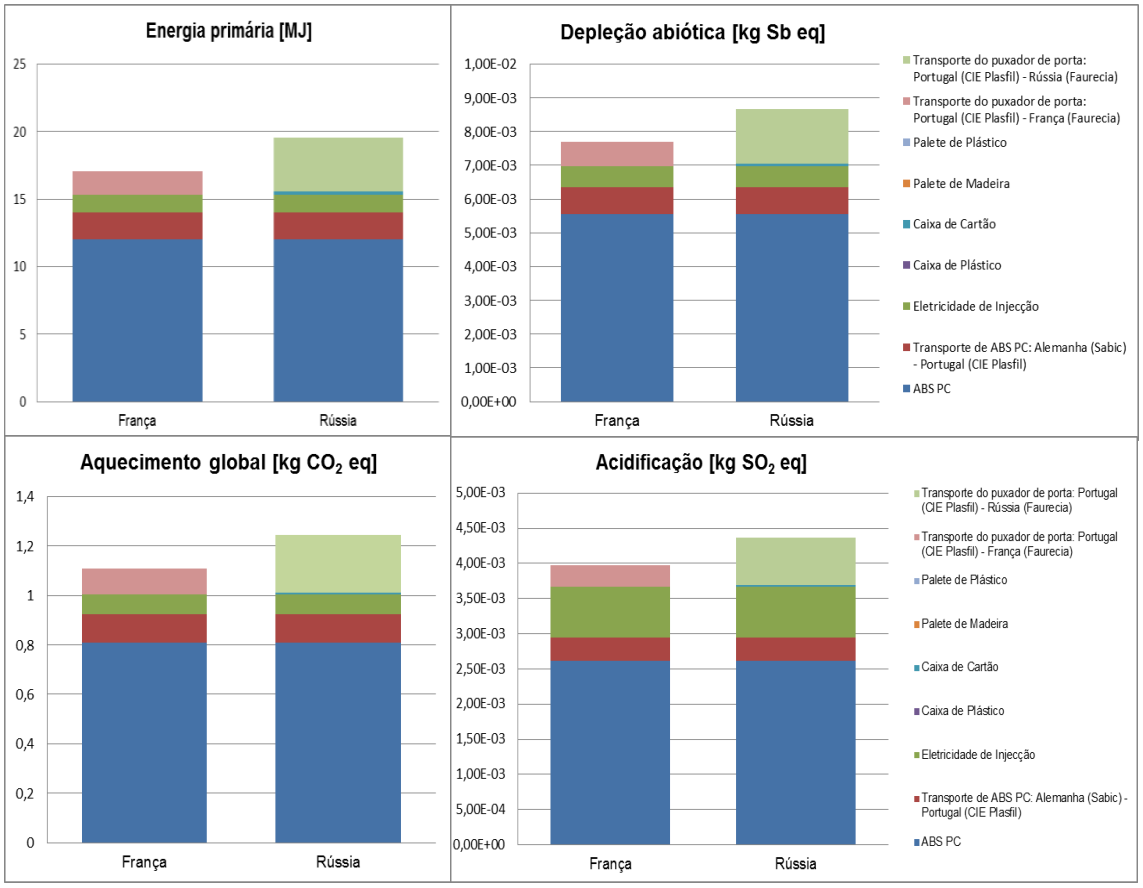

Figura 3.1 – Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) por puxador de porta do cenário de produção A com destino à França e Rússia.

Na Figura 3.2 verifica-se que nas categorias de eutrofização e oxidação fotoquímica, as contribuições da electricidade consumida no processo de injecção, a produção de ABS-PC e o transporte do ABS-PC são as mais relevantes devido às emissões de fosfato para a atmosfera que as fases têm associado. A fase do transporte da peça até à Rússia tem um impacte ambiental duas vezes superior ao transporte da peça até à França. Na categoria da depleção da camada de ozono a fase do transporte do puxador de porta até França e Rússia é a mais relevante, sendo respectivamente 40% e 59% o que de deve às emissões de metano associadas a esta fase, no entanto a fase do transporte de ABS-PC também apresenta significativas contribuições no ambiente.

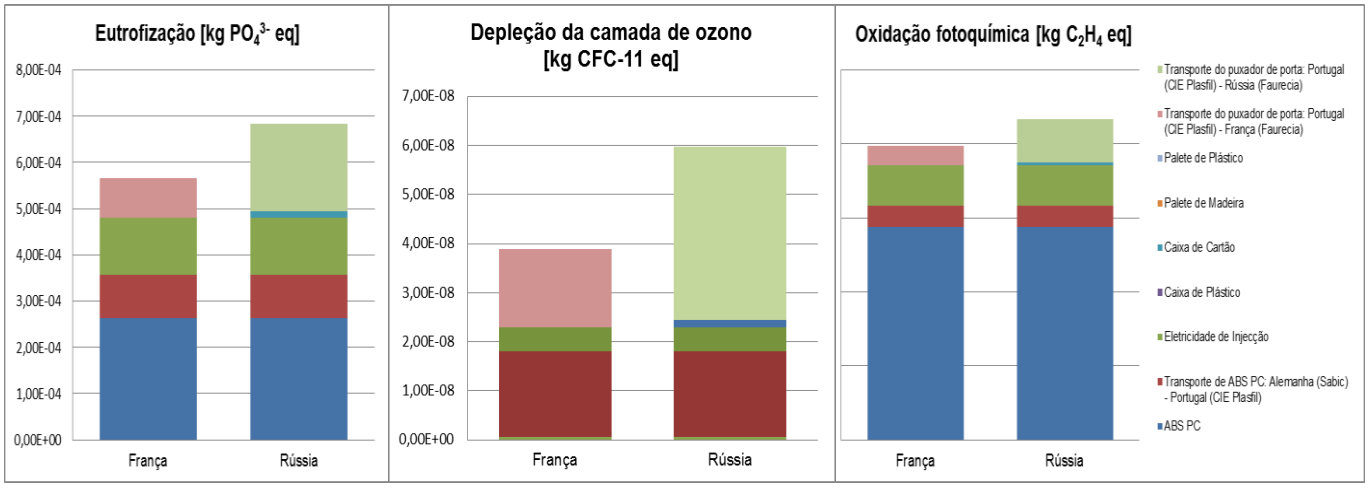

Figura 3.2 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) por puxador de porta do cenário de produção A com destino à França e Rússia.

A Figura 3.3 mostra que na categoria de toxicidade humana com e sem risco de cancro, as fases de electricidade consumida no processo de injecção, transporte do ABS-PC e produção do ABS-PC são as que causam maior impacte ambiental para os dois destinos (França e Rússia). Tal facto deve-se respectivamente às emissões de formaldeído e dioxinas libertadas para a atmosfera aquando do processamento destas fases. O transporte da peça acabada até à empresa Faurecia (França e Rússia) acarreta um impacte ambiental de 24% e 38% respectivamente, devido às emissões de dissulfureto de carbono lançadas na atmosfera.

Na ecotoxicidade, a fase de produção de ABS-PC é a que mais contribui com impactes ambientais (8,51E-03 CTUe) devido à libertação de fenol na água aquando da

produção do policarbonato. No puxador de porta com destino à Rússia nota-se que a fase da produção da caixa de cartão contribui com um impacte significativo (1,28E-03 CTUe) nesta categoria devido ao composto orgânico clorotalonil presente no cartão quando este é processado.

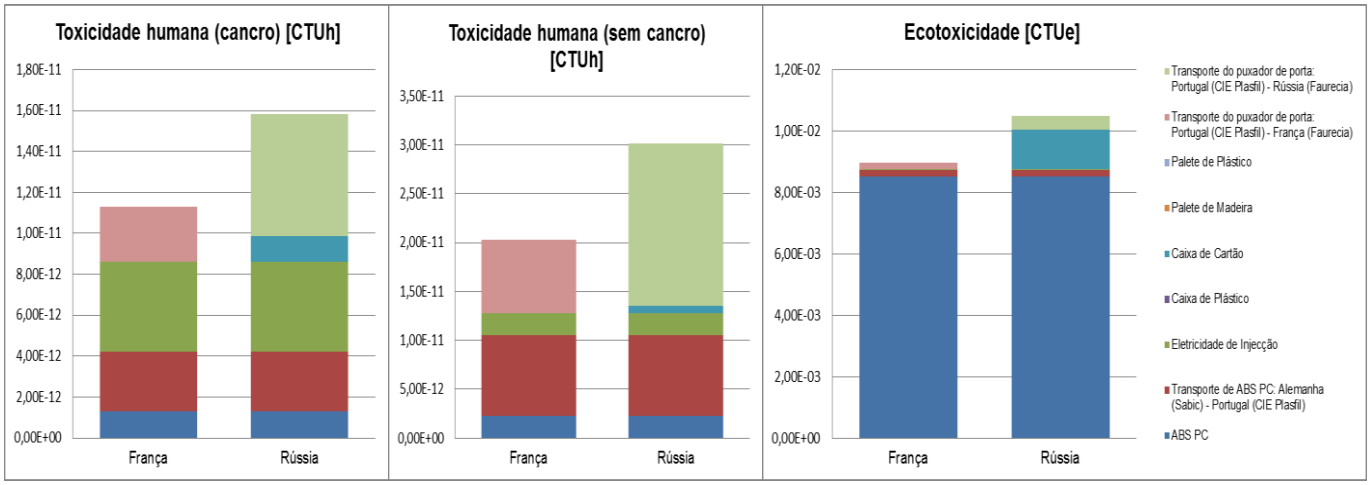

Figura 3.3 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) por puxador de porta do cenário de produção A com destino à França e Rússia.

3.1.2. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do puxador de porta: cenário de produção B

Na Figura 3.4 verifica-se que nas categorias apresentadas, as fases da produção de ABS-PC, a electricidade consumida no processo de injecção e o transporte da peça até às unidades receptoras (França e Rússia) são as fases que implicam um maior impacte ambiental neste cenário. Na categoria de energia primária, a produção de ABS-PC contribui para os dois destinos com 11,7 MJ devido ao consumo de gás natural, o transporte de ABS-PC até à CIE Plasfil implica um impacte de 1,91 MJ e a electricidade consumida no processo de injecção implica um impacte de 1,31 MJ.

No que diz respeito ao aquecimento global, a fase do transporte do puxador de porta até à Rússia afecta duas vezes mais a atmosfera com 0,23 kg CO_2 eq em relação ao transporte da mesma peça até França devido às emissões de dióxido de carbono.

Quanto à acidificação, o factor que mais influencia esta categoria em ambos os destinos é a produção de ABS-PC com 2,54E-03 kg SO_2 eq.

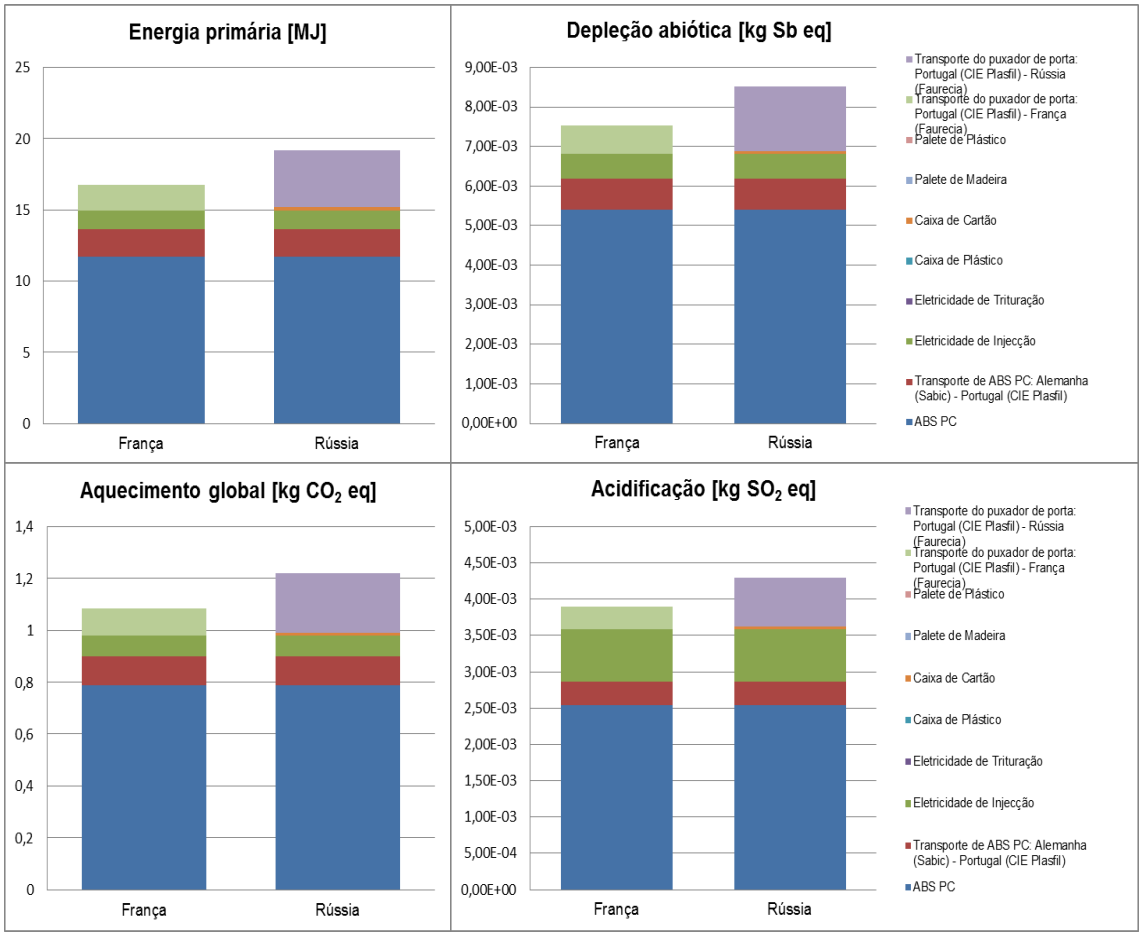

Figura 3.4 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) por puxador de porta do cenário de produção B com destino à França e Rússia.

A Figura 3.5 mostra que nas das categorias de eutrofização, depleção da camada de ozono e oxidação fotoquímica o transporte do puxador de porta até à Rússia é o cenário que acarreta mais impactes ambientais.

Na eutrofização salienta-se que a fase da electricidade consumida na injecção apresenta os maiores contributos de 1,24E-04 kg PO_4^{3-} eq. O transporte da peça até Rússia contribui para os impactes ambientais com 28% devido às emissões de óxidos de azoto na atmosfera.

Na categoria da depleção da camada de ozono, verifica-se que o transporte para a Rússia implica um maior impacte ambiental representando aproximadamente 59% (3,52E-04 kg CFC-11 eq) enquanto que o transporte para França implica um impacte de 41% (1,59E-08 kg CFC-11 eq).

Relativamente à oxidação fotoquímica, verifica-se que a fase de produção do ABS-PC provoca um impacte de 1,40E-04 kg C_2H_4 eq devido às emissões dióxido de enxofre no ar.

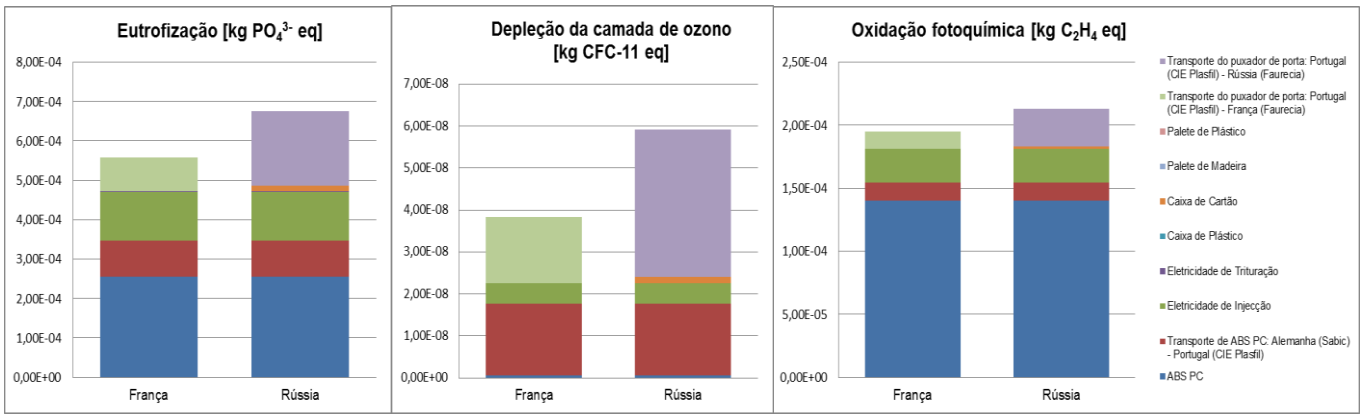

Figura 3.5 - Figura 3.5 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) por puxador de porta do cenário de produção B com destino à França e Rússia.

Na Figura 3.6, verifica-se que na toxicidade humana com e sem risco de cancro as fases que mais a afectam são respectivamente a electricidade consumida no processo de injecção (2,27E-12 CTUh) e o transporte da peça até à Rússia com um impacte duas vezes maior em relação ao transporte até á França devido ao formaldeído emitido na atmosfera.

Na categoria de ecotoxicidade nota-se que a produção do ABS-PC é o factor que mais influencia ambos os destinos (8,29E-03 CTUe ou seja, 94%) devido a elementos de fenol dissolvidos no meio aquático. No caso do destino Rússia, a caixa de cartão que transporta as peças implicam esta categoria 1,28E-03 CTUe, devido ao clorotalonil emitido no solo.

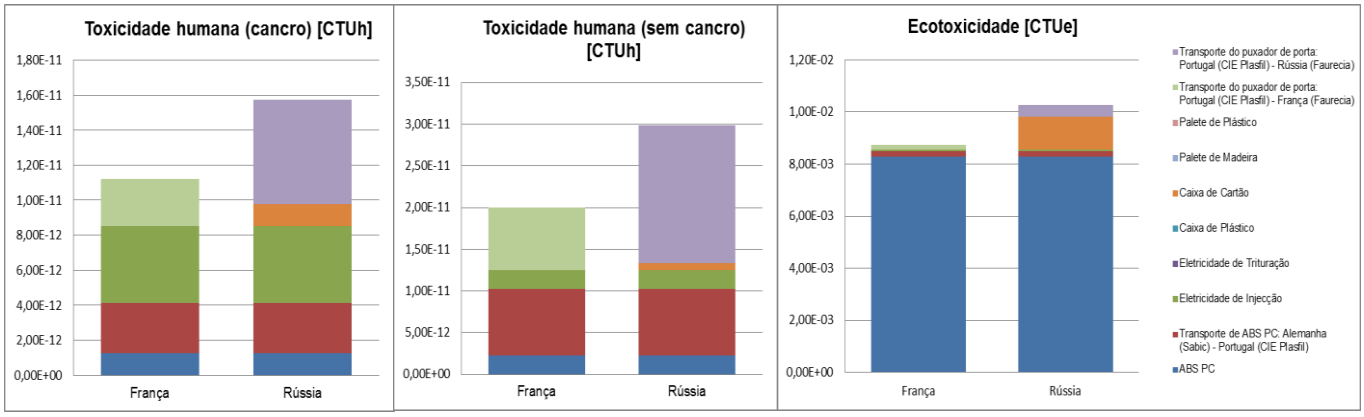

Figura 3.6 - Figura 3.6 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) por puxador de porta do cenário de produção B com destino à França e Rússia.

3.1.3. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do puxador de porta: cenário de produção C

Na análise de resultados do puxador de porta com cenário de produção C, o inventário da fase da reciclagem de ABS-PC está simplificado, pois as actividades de recolha de reciclado não foram consideradas, pelo que os impactes ambientais associados à reciclagem podem estar subestimados. Adicionalmente, é importante referir que o reciclado é assumido como um resíduo, em que os impactes do seu ciclo de vida foram exclusivamente atribuídos à sua vida anterior. Desta forma, o resíduo ABS-PC entra no sistema de reciclagem com zero impactes ambientais. Esta abordagem é habitualmente utilizada para resíduos, tal como é descrito em Clift *et al*. (2000).

Como se verifica na Figura 3.7, para todas as categorias analisadas, as fases da electricidade consumida no processo de injecção e do transporte da peça até á Rússia são as que implicam maiores contributos ambientais.

Relativamente à energia primária, o factor que mais influencia os impactes ambientais em ambos os destinos (França e Rússia) é a electricidade consumida no processo de injecção que representa 1,30 MJ (29%). Também se nota que para a Rússia, o transporte da peça contribui com 3,97 MJ devido ao consumo de combustível (diesel) efectuado pelo camião.

Na categoria de depleção abiótica, aquecimento global e acidificação verifica-se um comportamento semelhante ao descrito anteriormente, onde a electricidade

consumida no processo de injecção consumida no processo representa o maior impacte para ambos os destinos, este facto deve-se ao consumo de combustível o que origina emissões de monóxido de carbono.

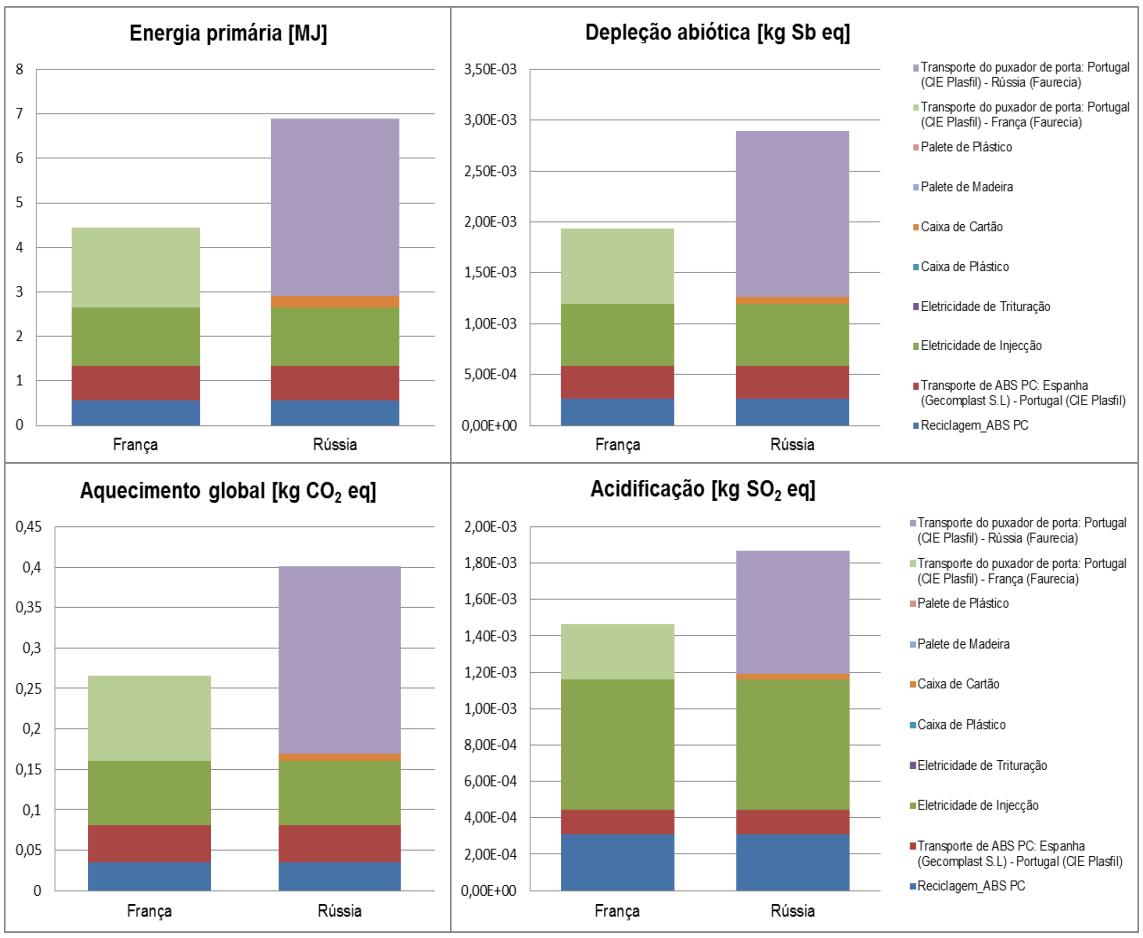

Figura 3.7 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) por puxador de porta do cenário de produção C com destino à França e Rússia.

Na Figura 3.8 verifica-se que na eutrofização, a maior contribuição nesta categoria é o consumo de electricidade consumida no processo de injecção 1,24E-04 kg PO_4^{3-} eq e o transporte do puxador de porta até à Rússia 1,90E-04 kg PO_4^{3-} eq que advém de substâncias de fosfato presentes na água.

Na depleção da camada de ozono nota-se que os transportes das peças até à França e Rússia são os factores que mais contribuem para o aumento dos impactes ambientais (1,59E-08 kg CFC-11 eq e 3,52E-08 kg CFC-11 eq) representando 53% e 69% devido às emissões de metano para o solo.

Na análise da oxidação fotoquímica, verifica-se que a fase da electricidade é a que mais contribui em ambos os destinos para os impactes ambientais com 2,68E-05 kg C_2H_4 eq devido ao dióxido de enxofre emitido para a atmosfera.

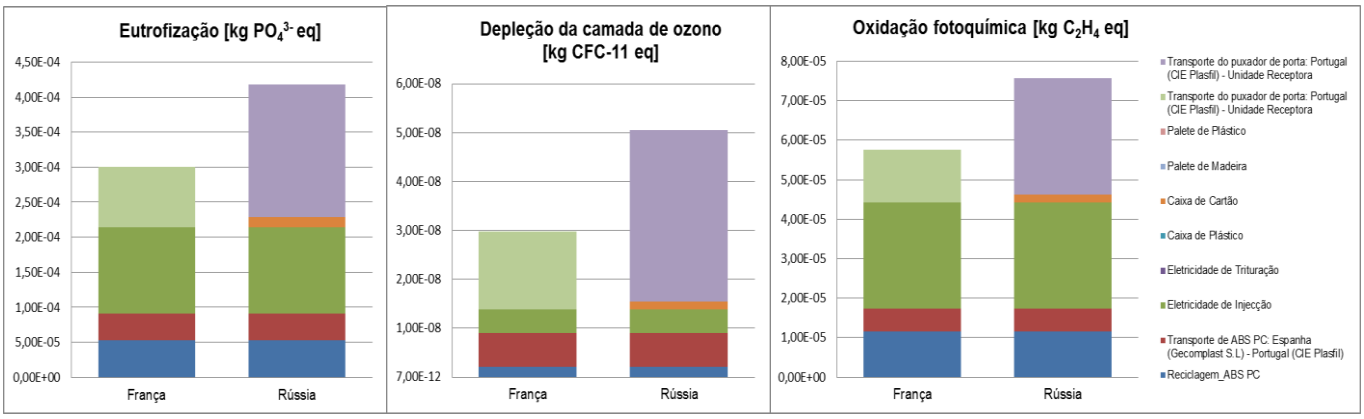

Figura 3.8 Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) por puxador de porta do cenário de produção C com destino à França e Rússia.

Os resultados em relação às categorias ecotoxicológicas encontram-se na Figura 3.9. Para a categoria de toxicidade humana com risco de cancro, verifica-se que o maior contribuinte para o aumento dos impactes ambientais é a electricidade consumida no processo de injecção com 4,37E-12 CTUh devido às substâncias de formaldeído presentes no ar.

Na categoria de toxicidade humana sem risco de cancro, verifica-se que o transporte para da peça para a França e Rússia é o factor mais significativo para o aumento dos impactes no ambiente. Estes contribuem com respectivamente 7,47E-12 CTUh e 1,65E-11 CTUh, o que de deve às emissões de hexano para o ar.

No que diz respeito à ecotoxicidade, em relação à Rússia, a caixa de cartão é a fase que causa maior impacte no ambiente com 1,28E-03 CTUe devido ao clorotalonil emitido para o solo seguindo-se o transporte da peça até à Rússia que contribui com 4,30E-04 CTUe.

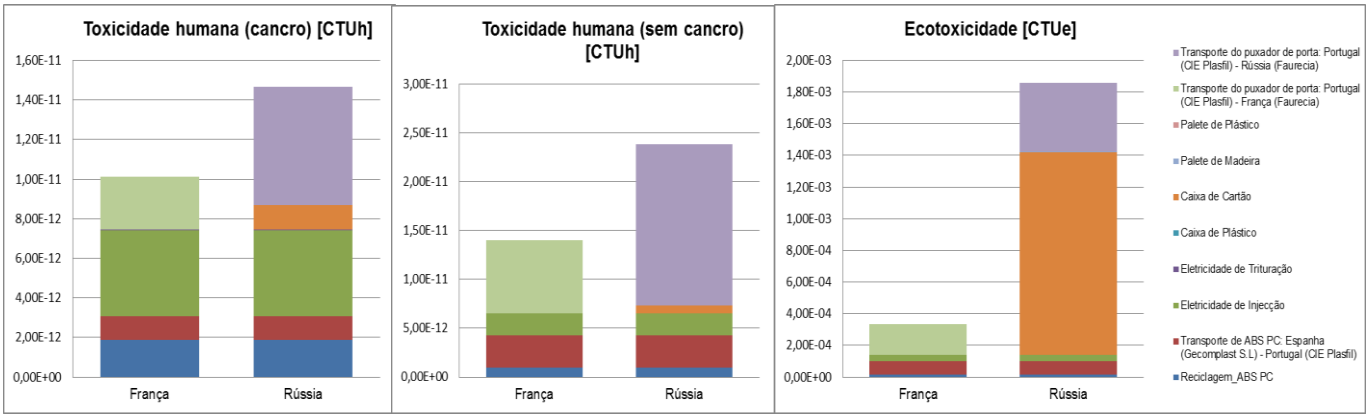

Figura 3.9 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) por puxador de porta do cenário de produção C com destino à França e Rússia.

3.1.4. Comparação dos três cenários de puxador de porta

Nesta secção é feita uma comparação dos três puxadores de porta (cenários de produção A, B e C) incluindo o transporte até à unidade receptora que se encontra em França. Esta análise mostra que para todas as categorias estudadas, o puxador de porta com cenário de produção C é o que apresenta menores impactes ambientais uma vez que a fase de reciclagem de ABS-PC tem impactes consideravelmente inferiores aos da produção desta matéria-prima virgem.

A Figura 3.10, mostra que o puxador de porta com cenário de produção A é o que implica maiores impactes ambientais devido à matéria-prima que o constitui ser inteiramente virgem e o puxador de porta com cenário de produção C implica menores impactes ambientais por se tratar de uma peça composta exclusivamente por matéria reciclada.

Nas categorias de energia primária, depleção abiótica e aquecimento global observa-se que no cenário de produção A, a produção de ABS-PC é o factor que mais contribui nos impactes ambientais com respectivamente 12 MJ, 5,55E-03 kg Sb eq e 0,8 kg CO_2 eq. Este facto deve-se aos encargos que a matéria-prima virgem de ABS-PC acarreta no ambiente. É de salientar que os cenários de produção A e B acarretam um impacte ambiental cerca de 65% superior em relação ao cenário de produção C.

Na categoria de acidificação, nota-se que para os cenários de produção A, B e C o factor que mais contribui para os impactes é a electricidade consumida no processo de injecção com igualmente 7,18E-04 kg SO_2 eq devido à libertação de dióxido de enxofre no ar. No entanto, o puxador de porta com cenário de produção C é o que implica menores impactes no ambiente, menos cerca de 60% em relação aos outros dois cenários de produção.

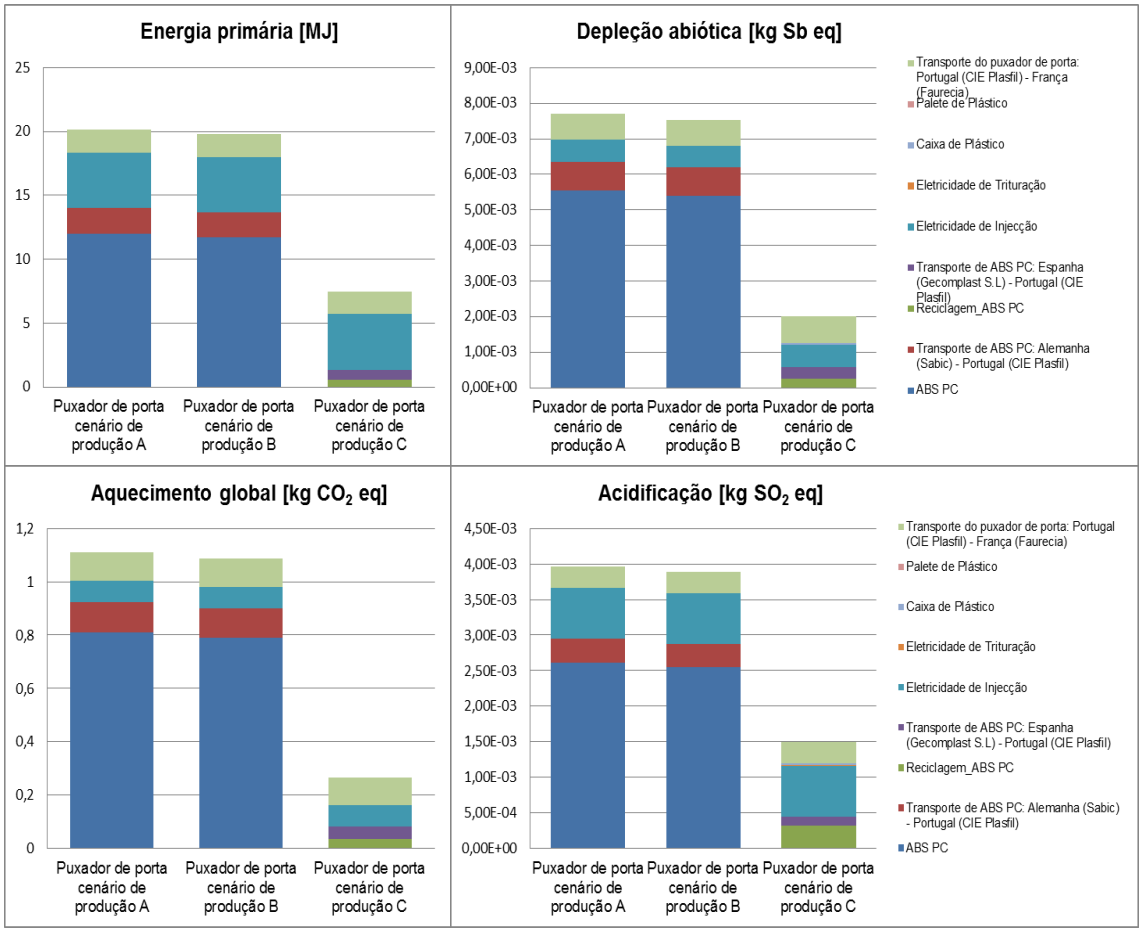

Figura 3.10 - Comparação dos impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do puxador de porta do cenário de produção A, B e C com destino à França.

A Figura 3.11 indica que para os três cenários de produção, na categoria de eutrofização o factor que mais contribui para o aumento dos impactes ambientais é a electricidade consumida no processo de injecção com igualmente 1,24E-04 kg PO_4^{3-} eq devido às substâncias de fosfato presentes na água.

Em relação à categoria de depleção da camada de ozono para os cenários de produção A e B verifica-se que o transporte da matéria-prima até à CIE Plasfil é a fase

que mais influencia os impactes ambientais com 1,75E-08 kg CFC-11 eq devido às emissões de hidrocarbonetos. No cenário C verifica-se que a electricidade consumida no processo de injecção é a fase que mais contributos causa no ambiente com 4,84E-09 kg CFC-11 eq. Para esta categoria os cenários A e B implicam maiores impactes ambientais, cerca de 18% em relação ao cenário C.

Na categoria de oxidação fotoquímica, verifica-se que nos cenários de produção A e B em relação ao C, a fase de produção de ABS-PC contribui com um impacte ambiental de aproximadamente 70% devido ao dióxido de enxofre emitido para o ar. O cenário de produção C implica cerca de menos 71% dos impactes ambientais em relação aos outros dois cenários.

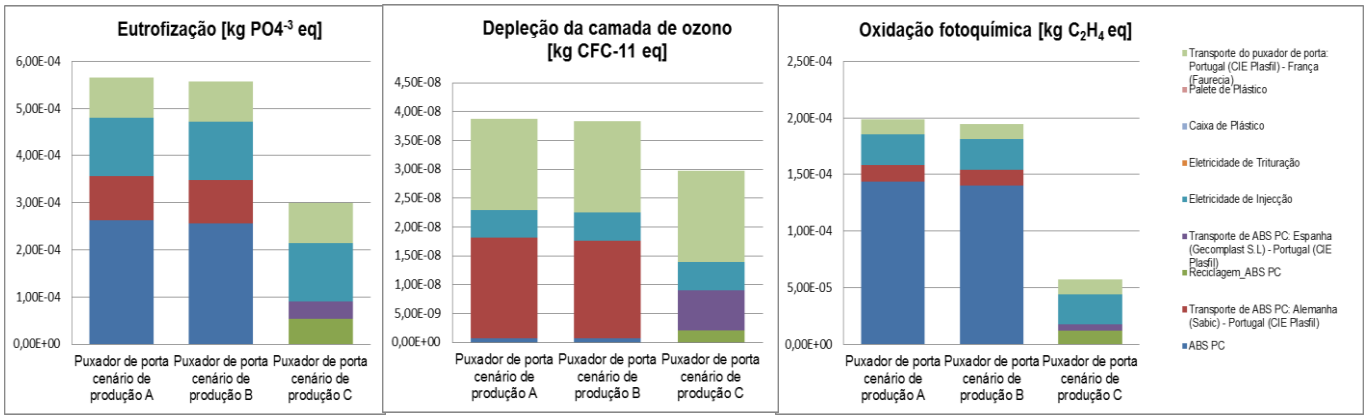

Figura 3.11 - Comparação dos impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono, Oxidação fotoquímica) do puxador de porta do cenário de produção A, B e C com destino à França

Na Figura 3.12, confirma-se que para todos os cenários, o cenário C é o que apresenta menores implicações ambientais.

Na categoria de ecotoxicidade com risco de cancro, a electricidade consumida no processo de injecção é o factor que causa o impacte mais dominante com 4,37E-12 CTUh. Este facto deriva das emissões de benzeno na atmosfera.

Em relação à categoria de toxicidade humana sem risco de cancro, para os cenários A e B, o transporte da matéria-prima até à CIE Plasfil é a fase que mais contribui para os impactes com respectivamente 8,21E-12 CTUh devido ao facto do fornecedor desta matéria-prima se localizar na Alemanha. Nestas categorias, o cenário A e B apresentam em média, cerca de mais 20% de impactes do que o cenário C, uma

vez que a matéria-prima que os constitui é virgem e por isso esta ter associado maiores impactes ambientais.

Para a ecotoxicidade, a produção de ABS-PC é o factor dominante nos cenários A e B devido à substância fenol lançada no meio aquático. No cenário C, devido ao material reciclado que compõe esta peça, este apresenta cerca de menos de 95% de impactes no ambientes quando comparado aos restantes cenários.

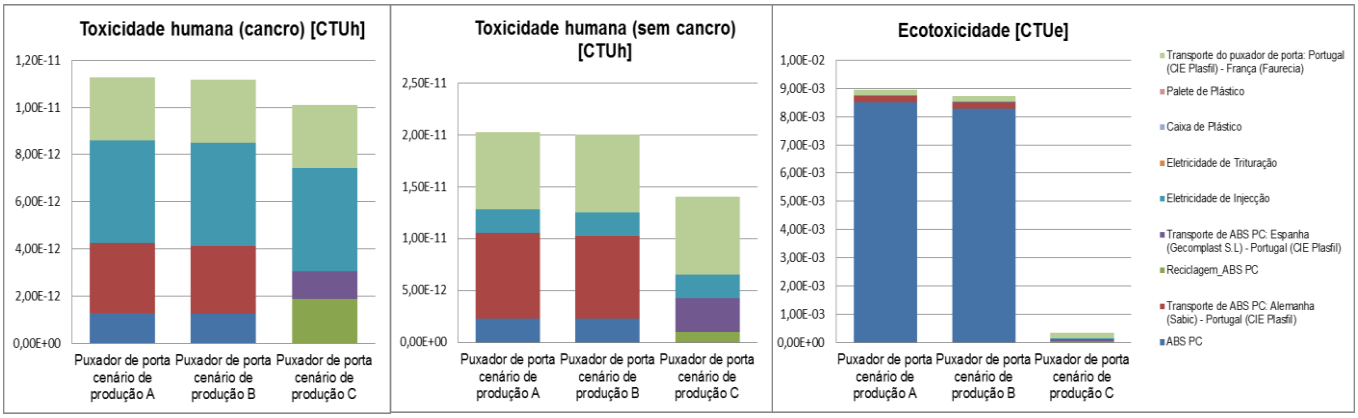

Figura 3.12 - Comparação dos impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do puxador de porta do cenário de produção A, B e C com destino à França

3.2. *Armrests* B, J e J_ novo *design*

3.2.1. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do *Armrest* B

A Figura 3.13 apresenta os processos que fazem parte do ciclo de vida do *armrest* B e os respectivos impactes ambientais nas diferentes categorias.

Na categoria de energia primária, depleção abiótica, aquecimento global e acidificação, verifica-se que a fase de produção do aço é a que mais afecta o ambiente com respectivamente 14 MJ (36%), 7,40E-03 kg Sb eq (42%), 0,88 kg CO_2 eq (43%) e 3,42 E-03 kg SO_2 eq (42%). Tal facto deve-se às emissões de dióxido de carbono e dióxido de enxofre. Nas duas primeiras categorias também se verifica que a fase de produção de PP contribui com um impacte ambiental de 8,1 MJ e 3,50E-03 kg Sb eq, respectivamente. Em relação à categoria de acidificação destaca-se também uma fase significativa, a cataforese, que implica impactes no ambiente de 1,91E-03 kg SO_2 eq (23%) devido às emissões de óxidos de azoto.

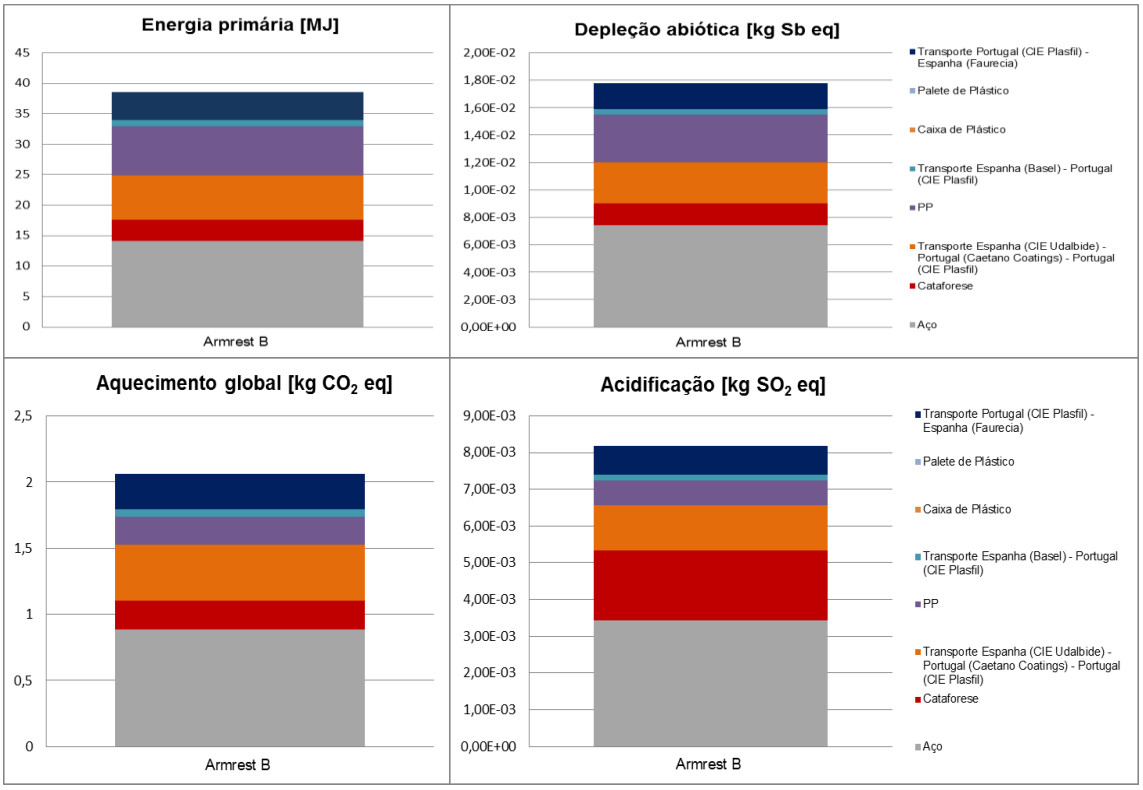

Figura 3.13 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do *armrest* B.

Na categoria eutrofização e oxidação fotoquímica (Figura 3.14), verifica-se que a fase predominante é o processo de produção do aço (2,04E-03 kg PO_4^{3-} eq e 4,47E-04 kg C_2H_4 eq) devido respectivamente ao composto de fosfato lançado no meio aquático e às emissões de monóxido de carbono libertadas na atmosfera.

Quanto à depleção da camada de ozono verifica-se que o transporte do aço da CIE Udalbide é um dos factores que implica maior impacte com 6,44E-08 kg CFC-11 eq (40%) devido às emissões de metano na atmosfera. Outro agente dominante que afecta esta categoria é o transporte da peça até à unidade receptora (Faurecia) o qual contribui com 4,06E-08 kg CFC-11 eq ou seja 25%.

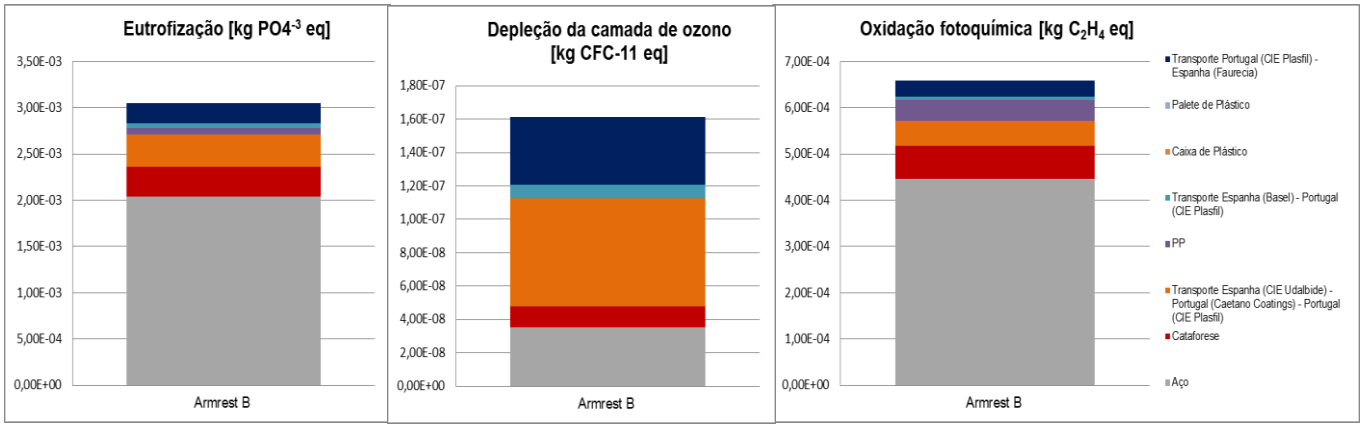

Figura 3.14 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* B.

A Figura 3.15 mostra que na categoria de toxicidade humana com risco de cancro, a fase de produção do aço é a predominante com um contributo de 1,12E-10 CTUh (78%) devido à presença de dioxinas de tetraclorodibenzeno presentes no ar.

Também para a categoria de toxicidade humana sem risco de cancro, a fase principal é a do aço e representa emissões de 2,16E-10 CTUh (78%) devido à presença de dissulfureto de carbono no ar.

Na ecotoxicidade, o agente que mais se destaca é o transporte do aço da CIE Udalbide e o transporte do *armrest* B até Espanha com respectivamente 7,87E-04 CTUe (35%) e 4,96E-04 CTUe (22%). Este facto deriva das emissões de elementos de fenol no meio aquático.

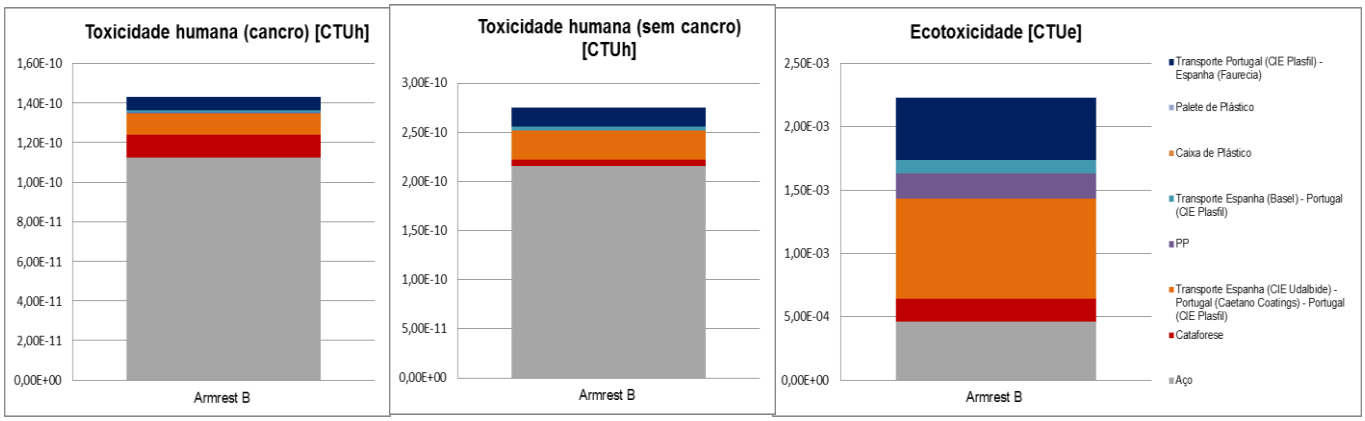

Figura 3.15 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro). Toxicidade humana (sem cancro). Ecotoxicidade) do *armrest* B.

3.2.2. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do *Armrest* J

Na Figura 3.16 destaca-se que para a categoria de energia primária, depleção abiótica, aquecimento global e acidificação a fase de produção de PBT PET GF30 é a que mais contribui para os impactes ambientais.

Na primeira categoria há um contributo de 37 MJ (63%) devido ao consumo de carvão. Também o transporte do *armrest* J até França influencia esta categoria com 7MJ (13%) devido ao consumo de combustível (diesel). Para a depleção abiótica, também as fases mencionadas anteriormente são a principal causa do aumento dos impactes com 1,62E-02 kg Sb eq e 3,07E-03 kg Sb eq devido ao consumo de combustível fóssil (petróleo). No aquecimento global a fase de produção do PBT PET GF30 contribui com um impacte de 52% (1,38 kg CO_2 eq) e a fase do transporte da peça até França contribui com 16% (0,44 kg CO_2 eq) causadas por emissões de dióxido de carbono na atmosfera. Quanto à acidificação, a fase de produção de PBT PET GF30 sendo o factor predominante contribui com 6,86E-03 kg SO_2 eq e a electricidade de produção também influência com um valor significativo de (3,06E-03 kg SO_2 eq) devido às emissões de dióxido de enxofre.

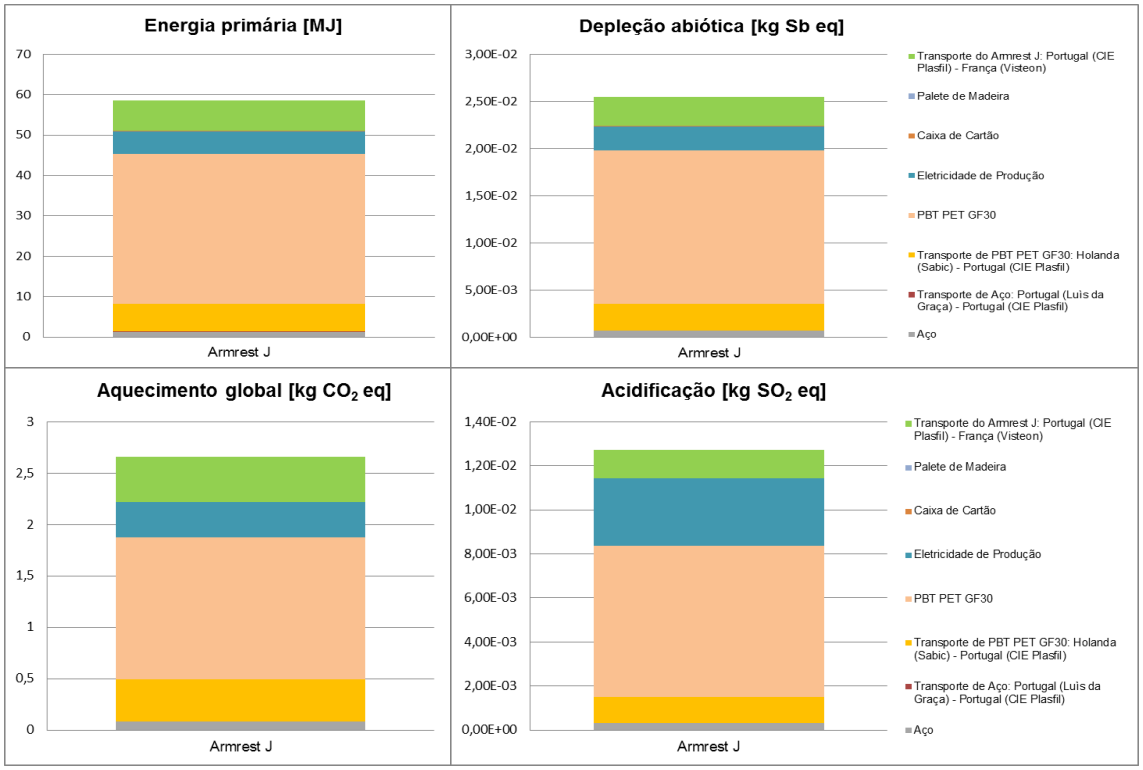

Figura 3.16 - Figura 3.16 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global, Acidificação) do *armrest* J.

A Figura 3.17 mostra que na categoria de eutrofização, a produção do PBT PET GF30 e a electricidade de produção são os factores que mais prejudicam o ambiente com respectivamente 9,35E-04 kg PO_4^{3-} eq (40%) e 5,26E-04 kg PO_4^{3-} eq (22%) causadas pelas emissões de fosfato no meio. Em relação à categoria da depleção da camada de ozono verifica-se que o transporte do PBT PET GF30 é o responsável pelo aumento dos impactes com 6,15E-08 kg CFC-11 eq (34%) e que o transporte da peça até França também implica um contributo de 6,62E-08 kg CFC-11 eq (36%) ambos originados pelas emissões de metano na atmosfera. Relativamente à oxidação fotoquímica, o factor predominante resulta da fase de PBT PET GF30 com 3,38E-04 kg C_2H_4 eq (56%) provocado pelas emissões de dióxido de enxofre no ar.

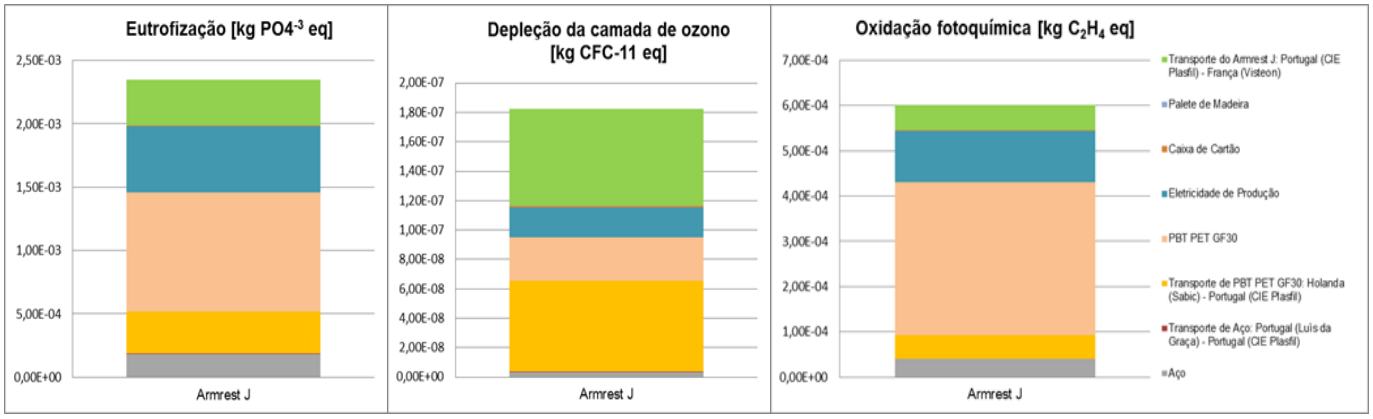

Figura 3.17 - Impactes ambientais (Eutrofização, Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* J.

Na Figura 3.18 para a categoria de toxicidade humana com risco de cancro, a electricidade de produção é o maior contribuinte de impactes ambientais com 2,61E-11 CTUh originado pela libertação de formaldeído na atmosfera.

No que diz respeito à toxicidade humana sem risco de cancro, existe uma partilha semelhante em relação às fases analisadas, notando-se no entanto que o principal agente é o transporte até França que representa 28%, ou seja 3,11E-11 CTUh, causado pela libertação de um solvente (dissulfureto de carbono) no ar.

De acordo com a categoria de ecotoxicidade, o factor determinante para o aumento dos impactes ambientais é o transporte da peça até França seguindo-se a produção da caixa de cartão, representando ambos aproximadamente 25%. As causas associadas ao transporte derivam das emissões de fenol e da produção da caixa de cartão provêm do clorotalonil presente no solo.

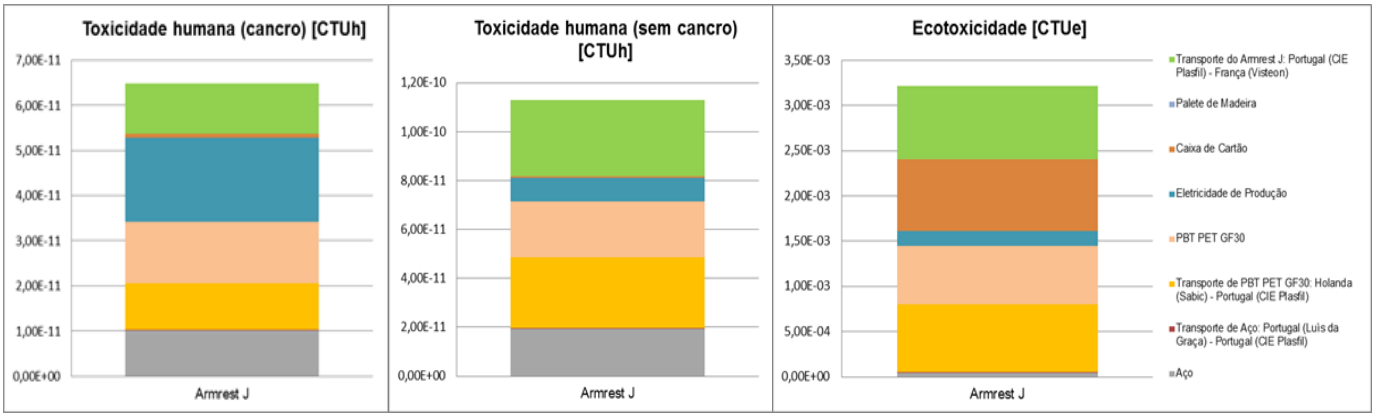

Figura 3.18 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do *armrest* J.

3.2.3. Avaliação ambiental, energética e de toxicidade do *Armrest* J_Novo *design*

A Figura 3.19 mostra que para as categorias de energia primária, depleção abiótica e aquecimento global, a fase que mais contribui para os impactes ambientais é a produção de PBT PET GF30.

Na energia primária, a produção de PBT PET GF30 contribui com 21 MJ (41%) devido ao consumo de petróleo. Para a categoria de depleção abiótica a produção de PBT PET GF30 acarreta um impacte de 9,06e-03 kg Sb eq seguindo-se a fase de produção de PP GF30 (4,43E-03 kg Sb eq), tal facto advém do consumo de combustíveis fósseis (petróleo).

No aquecimento global, o PBT PET GF30 apresenta-se como o factor que mais contribui para os impactes com 0,77 kg CO_2 eq e a electricidade usada na produção da peça também contribui para os impactes com 0,29 kg CO_2 eq, justificando-se tal facto pelas emissões de dióxido de carbono no ar.

No caso da acidificação nota-se que a electricidade de produção é o principal factor para o aumento de 2,62E-03 kg SO_2 eq (25%) na atmosfera proveniente das emissões de dióxido de enxofre na mesma.

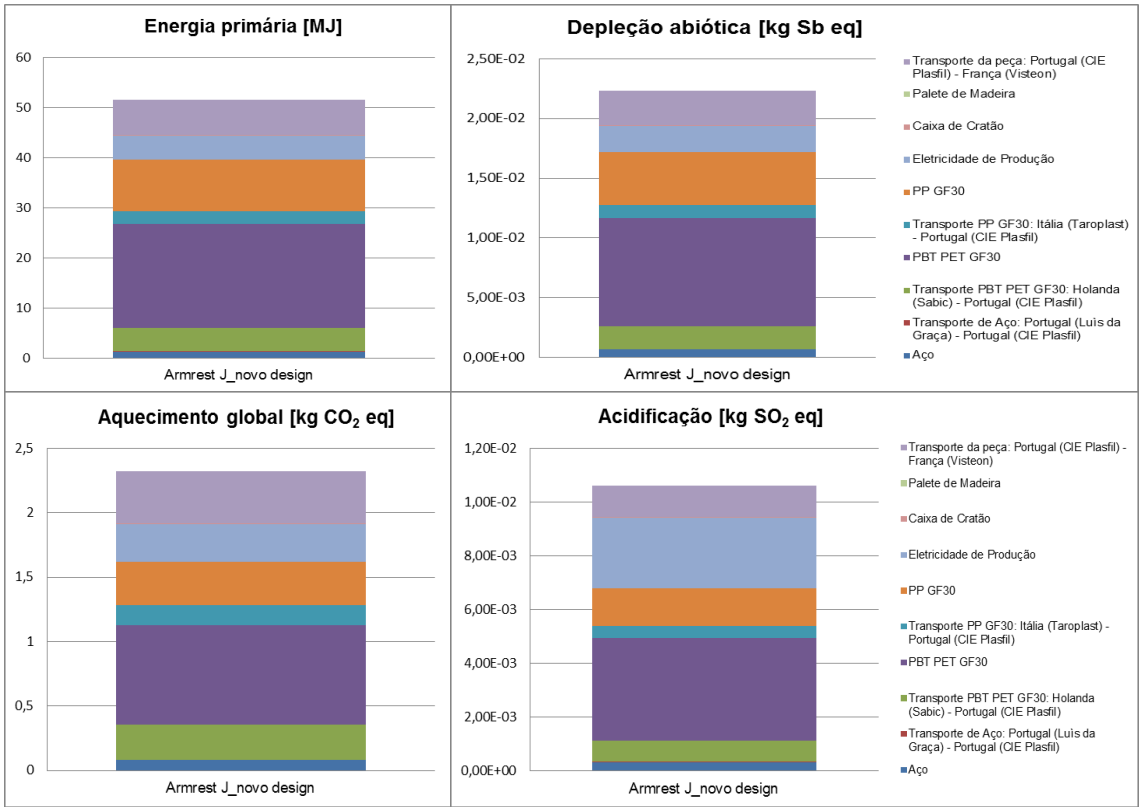

Figura 3.19 - Impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do *armrest* J_novo *design*.

Na Figura 3.20, verifica-se que a electricidade de produção é o factor que implica um maior contributo no ambiente para a categoria de eutrofização cujo seu contributo é de 4,51E-04 kg PO_4^{3-} eq representando 21%, devendo-se este facto às libertações de fosfato na água.

Na depleção da camada de ozono o transporte da peça até França é a fase que mais contribui para os impactes ambientais com 6,20E-08 kg CFC-11 eq (36%) devido às emissões de metano no ar. Também se verifica que o transporte do PBT PET GF30 é outra fase com uma contribuição importante (4,11E-08 kg CFC-11 eq).

Quanto à oxidação fotoquímica, os factores que mais contribuem para os impactes são a produção de PBT PET GF30 e a electricidade de produção com respectivamente 1,89E-04 kg C_2H_4 eq e 9,79E-05 kg C_2H_4 eq devido à libertação de dióxido de enxofre na atmosfera.

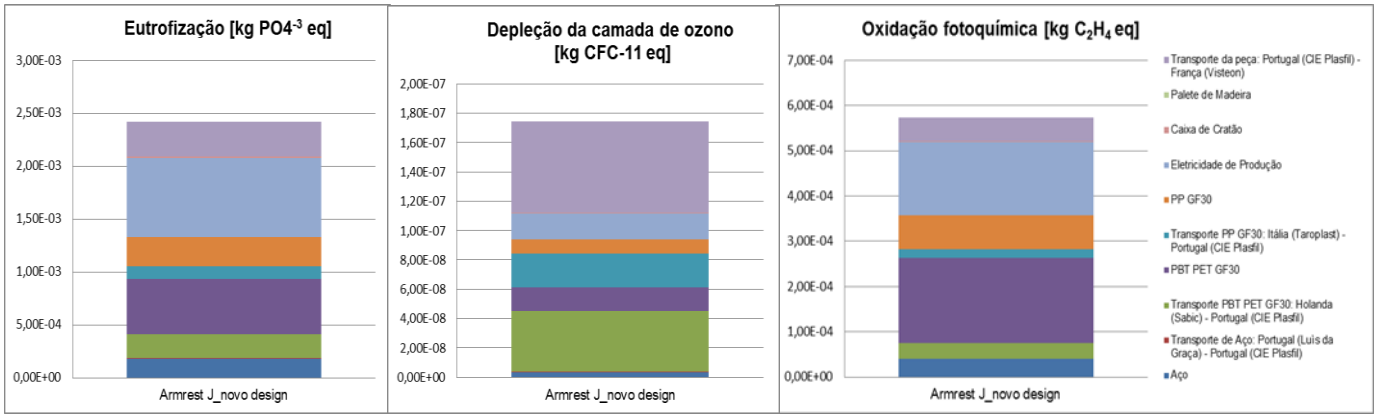

Figura 3.20 - Impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* J_novo *design*.

A Figura 3.21 mostra que na toxicidade humana com risco de cancro a fase mais importante é a electricidade de produção (1,59E-11 CTUh) devido às emissões de formaldeído. Por outro lado, na categoria de toxicidade humana sem risco de cancro o factor predominante é o transporte da peça até França com 27% (2,92E-11 CTUh), causado pelo dissulfureto de carbono presente no ar.

Na ecotoxicidade, a produção da caixa de cartão influencia em 25% os impactes ambientais devido ao clorotalonil presente no solo seguindo-se o transporte da peça até França que apresenta um contributo de 24% devido às emissões de fenol emitidas para a água.

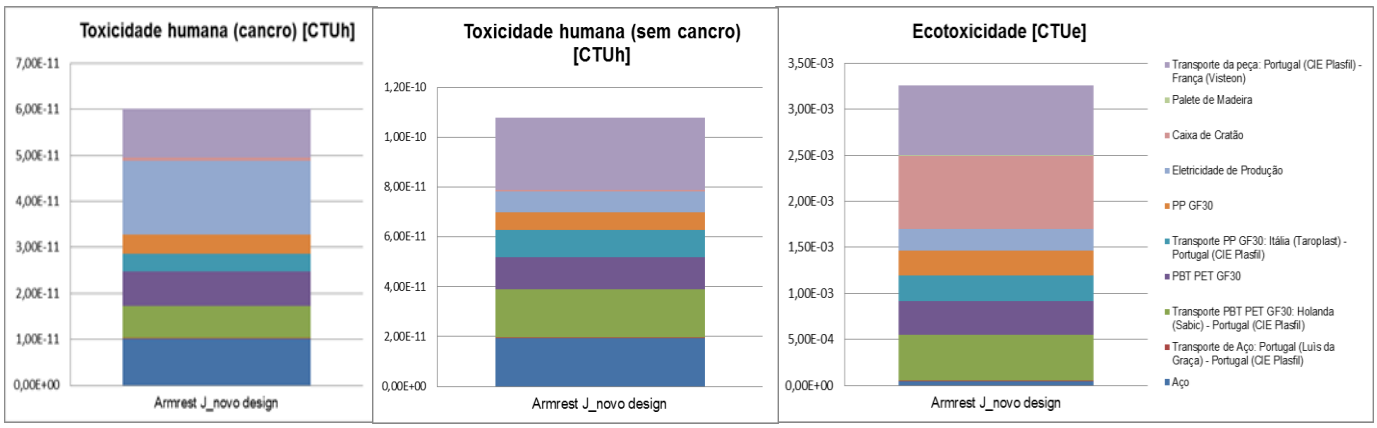

Figura 3.21 - Impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do *armrest* J_novo *design*.

3.2.4. Comparação dos *armrest* B, J e J_novo *design*

Nesta secção é feita uma comparação dos três *armrest* (B, J e J_novo *design*), usando o método CML 2 *baseline* 2000, CED e USEtox. A Figura 3.22 mostra que, para as quatro categorias em análise, o *armrest* J é o que apresenta maiores impactes e que o *armrest* B é o que apresenta menores contributos ambientais.

Na categoria de energia primária verifica-se que no *armrest* J a fase de produção de PBT PET GF30 implica um impacte de 37 MJ devido ao consumo de petróleo. Em relação ao *armrest* B, o factor que mais contribui para os impactes ambientais é a produção de aço com um impacte 14 vezes maior em relação à mesma fase do *armrest* J e J_novo *design*. Este facto advém do consumo de carvão necessário no processo de produção do aço do *armrest* B.

Na categoria de depleção abiótica, aquecimento global e acidificação, verifica-se que a produção de PBT PET GF30 é o maior contribuinte dos impactes ambientais para o *armrest* J e *armrest* J_novo *design*. Estas peças em relação ao *armrest* B no processo de injecção (material plástico) consomem mais energia eléctrica, o que acarreta um impacte maior devido ao consumo de gás natural na categoria de depleção abiótica. No entanto, para a mesma categoria, no *armrest* B, o factor que mais contribui para o seu impacte é a produção do aço com 42% devido ao consumo de carvão.

Na categoria de aquecimento global sendo o *armrest* B o que causa menos impactes no ambiente, destaca-se que a fase de produção do aço representa um impacte de 43% para esta peça. No que respeita à acidificação, verifica-se que o *armrest* J em relação ao *armrest* B acarreta com mais contributos ambientais, cerca de 40%.

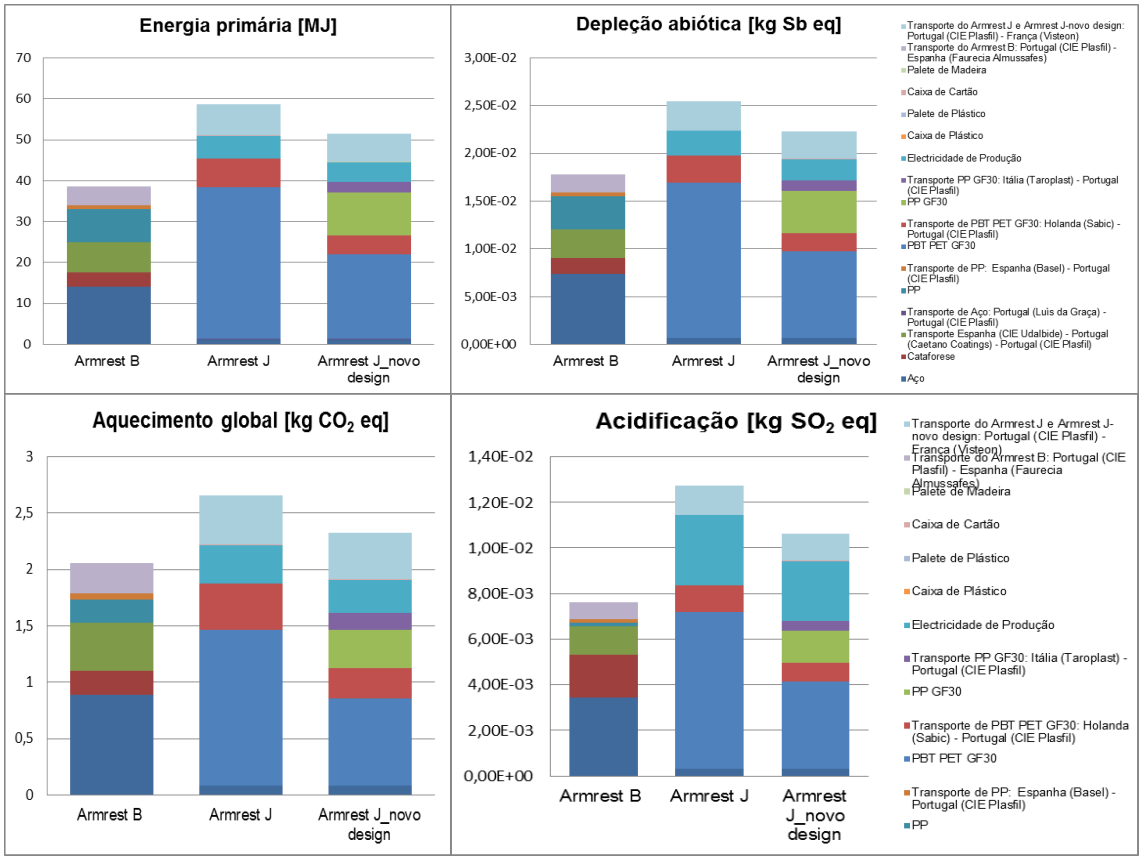

Figura 3.22 - Comparação dos impactes ambientais (Energia primária; Depleção abiótica; Aquecimento global; Acidificação) do *armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_novo *design*.

A Figura 3.23 mostra que na categoria de eutrofização, das três peças, o *armrest* B é a que causa mais impactes ambientais, destacando-se a fase de produção do aço com 2,04E-03 kg PO_4^{3-} eq (67%) devido às emissões de fosfato na água provenientes do processo do aço. Os *armrest* J e J_novo *design* apresentam menos impactes quando comparados com o *armrest* B mas no entanto, a electricidade de produção é o factor predominante nestas peças com respectivamente 5,26E-04 kg PO_4^{3-} eq e 4,51E-04 kg PO_4^{3-} eq. O *armrest* B apresenta um contributo ambiental em cerca de mais 30% em relação ao *armrest* que causa menores impactes nesta categoria. Também se verifica que na oxidação fotoquímica, o *armrest* B em relação aos outros dois é o que apresenta maiores impactes no ambiente.

Na categoria de depleção da camada de ozono, observa-se que para o *armrest* J e *armrest* J_novo *design*, o transporte da peça até à unidade receptora (França) implica um maior impacte ambiental (36%) em relação à mesma fase do *armrest* B (transporte

da peça até Espanha). Por outro lado, apesar do *armrest* B implicar menos impactes ambientais nesta categoria, o transporte da peça de aço da CIE Udalbide é a fase que compromete mais emissões no ambiente (40%) por esta apresentar um maior peso e logo afectar o seu transporte.

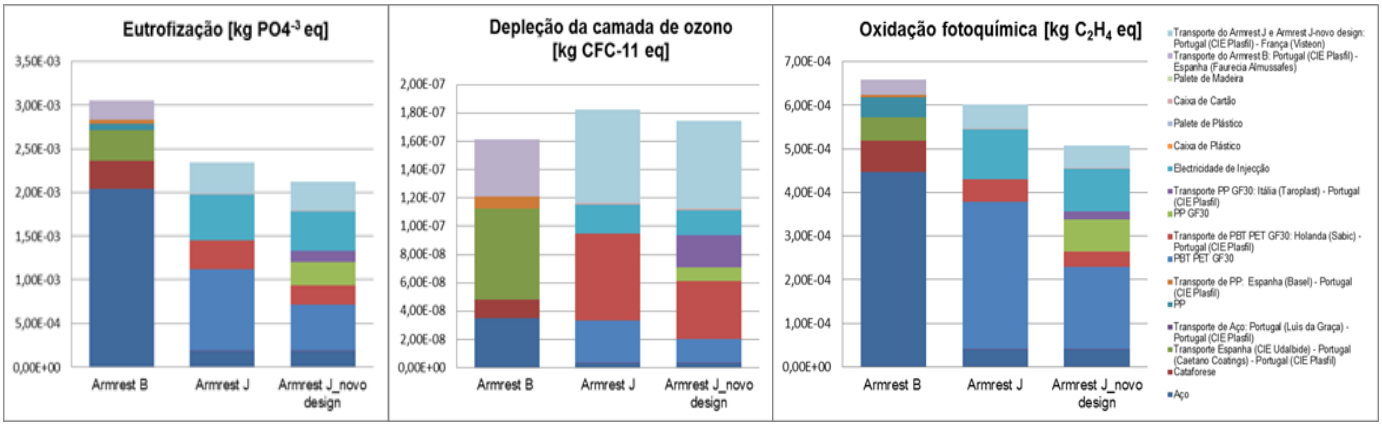

Figura 3.23 - Comparação dos impactes ambientais (Eutrofização; Depleção da camada de ozono; Oxidação fotoquímica) do *armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_novo *design*.

Na categoria de toxicidade humana com e sem risco de cancro (Figura 3.24), observa-se que o *armrest* B é a peça que apresenta maiores impactes no ambiente devido ao processo de aço, o qual apresenta um acréscimo de cerca de 63% quando comparado com a mesma fase dos *armrest* J e J_novo *design*.

Observa-se que na categoria de ecotoxicidade, o *armrest* J é o componente automóvel que apresenta maiores impactes quando comparado com *armrest* B. Em relação ao *armrest* J_novo *design*, este apresenta uma melhoria nas fases da produção de PBT PET GF30 (menos 9%) e na fase do transporte desta matéria-prima (menos 7%) em relação ao *armrest* J, por este se tratar de uma peça mais leve. No *armrest* J e *armrest* J_novo *design*, a caixa de cartão quando comparada à caixa de plástico que transporta o *armrest* B, é um dos factores que mais afecta esta categoria com 7,91E-04 CTUe. No *armrest* B a principal fase que contribui para as consequências nesta categoria é o transporte do aço até à CIE Plasfil o que afecta 7,87E-04 CTUe.

Nas duas primeiras categorias, o *armrest* B apresenta maior impacte devido à produção de aço pois este processo acarreta elevados consumos energéticos logo,

maiores emissões no ambiente. Na ecotoxicidade o *armrest* J apresenta maior impacte devido às emissões que ocorrem aquando da produção da caixa de cartão.

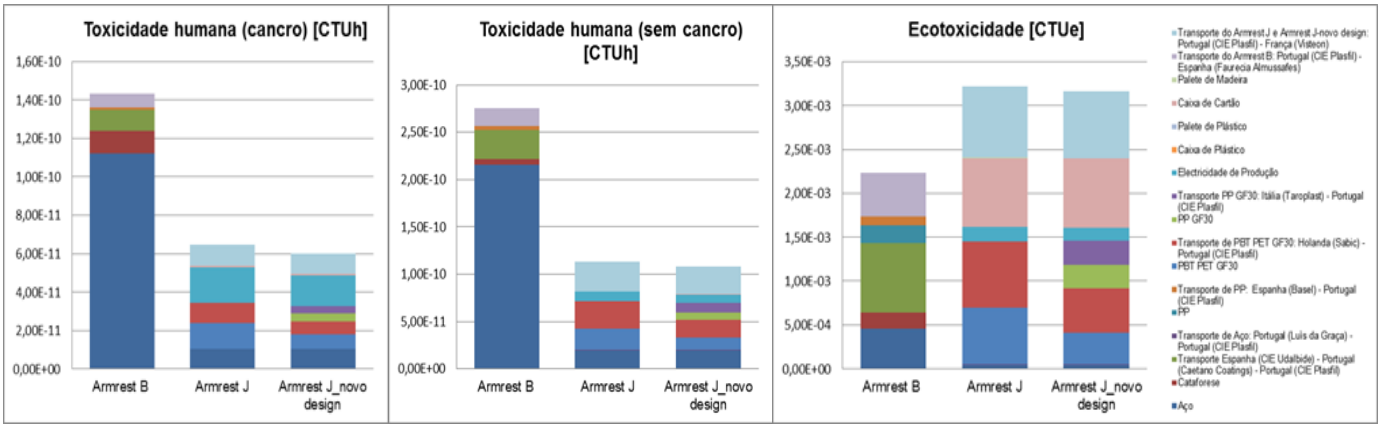

Figura 3.24 - Comparação dos impactes ambientais (Toxicidade humana (cancro); Toxicidade humana (sem cancro); Ecotoxicidade) do *armrest* B, *armrest* J e *armrest* J_novo *design*.

4. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação teve como principal objectivo avaliar o processo de produção de dois componentes automóveis distintos produzidos na CIE Plasfil: um puxador de porta e um apoio de braço (*armrest*).

Foram avaliados três cenários de produção do puxador de porta: o cenário A cuja peça é formada por matéria-prima virgem (ABS-PC); o cenário B descreve um puxador de porta formado por ABS-PC virgem e por jitos reciclados internamente na CIE Plasfil e o cenário de produção C representa uma peça constituída por ABS-PC e jitos reciclados. Também no estudo do *armrest*, foram tidos em conta três cenários distintos. O *armrest* B formado essencialmente por aço, o *armrest* J formado por plástico (PBT PET GF30) e o *armrest* J_novo *desgin* descreve uma melhoria do *amrest* J onde foi reduzido o seu peso e alterada a matéria-prima que constitui o *charniére* da peça.

Foi desenvolvido um inventário de ciclo de vida, com base em dados recolhidos na empresa CIE Plasfil (anos 2011 a 2014). Para o desenvolvimento deste inventário foi necessário identificar as fronteiras do sistema, incluindo os principais processos envolvidos a montante e a jusante, bem como as principais etapas de ciclo de vida e os fluxos de materiais ao longo da cadeia de produção de componentes plásticos.

O método CML 2 *baseline* 2000 foi utilizado para analisar os diferentes cenários de produção do puxador de porta (cenários A, B e C) e do *armrest* (B, J e J_novo *design*). Nos cenários de produção do puxador de porta, verificou-se que as fases de electricidade consumida no processo de injecção, produção de ABS-PC e transporte da peça até à unidade receptora (França e Rússia) são os processos com mais impactes ambientais.

Nos cenários do *armrest* verificou-se que, no *armrest* B, as fases do processamento do aço, do transporte da peça, o processo de cataforese e a electricidade de produção são as que mais afectam o meio ambiente. No *armrest* J e no *armrest* J_novo *design*, as fases mais prejudiciais são a produção de PBT PET GF30 e PP GF30, o transporte e a electricidade de produção que afectam as categorias de depleção

abiótica, acidificação, aquecimento global e oxidação fotoquímica devido aos *inputs* necessários e consequentes emissões das matérias-primas.

Foi também utilizado o método USEtox para avaliar as fases com maior impacte na toxicidade humana (com e sem risco de cancro) e na ecotoxicidade. Nos cenários de puxador de porta, notou-se que a electricidade consumida no processo de injecção afecta a categoria de toxicidade humana com risco de cancro e a produção de ABS-PC causa impactes ambientais na ecotoxicidade. Foi ainda avaliado o ciclo de vida do puxador de porta tendo em conta dois cenários de transporte, França e Rússia, o qual implica maior consumo de combustível e mais emissões atmosféricas.

Conclui-se que em relação ao puxador de porta, o cenário de produção A é o que tem pior desempenho devido à matéria-prima que o compõe ser completamente virgem. O cenário que implica menores impactes no ambiente, é o puxador de porta do cenário de produção C, pois trata-se de uma peça constituída por matéria-prima e jitos totalmente reciclados. Ou seja, em média, o cenário C apresenta cerca de menos de 55% de impactes em relação ao cenário de produção A.

Em relação ao *armrest*, verificou-se que o *armrest* B é o que tem menos impactes quando comparado ao *armrest* J (cerca de menos 41%), nas categorias de energia primária, depleção abiótica, aquecimento global, acidificação, depleção da camada de ozono e ecotoxicidade, sendo que nas restantes categorias é a peça que apresenta maiores impactes. Verifica-se que o *armrest* J_novo *design*, devido à redução de peso e do tipo de matéria-prima, torna-se a melhor alternativa quando comparado com o *armrest standard* (J) apresentando assim cerca de menos de 12% de impactes no ambiente.

<u>Principais limitações e sugestões para trabalho futuro:</u>

A fase de produção dos componentes foi o foco principal desta dissertação. No decorrer desta investigação surgiram algumas limitações devido à falta de dados que são identificadas como sugestões para trabalhos futuros:

- Revisão da informação associada às composições químicas de alguns produtos químicos e matérias-primas;
- Investigação do processo de siderurgia do aço que constitui o *armrest* B;
- Análise mais detalhada do processo de revestimento do *armrest* B;
- Análise aprofundada do processo de reciclagem da Gecomplast S.L.;
- Avaliação do ciclo de vida das peças deste estudo tendo em conta o fim de vida das mesmas.

Neste trabalho, a fase de uso não foi tida em consideração uma vez que o foco principal era a fase de produção que se realiza na CIE Plasfil. No entanto como analisado na literatura estudada, a fase de uso é um principal factor para o aumento dos impactes ambientais no ciclo de vida de um produto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves. C.; Ferrão. P.M.C.; Silva. A.J.; Reis. L.G.; Freitas. M.; Rodrigues. L.B.; Alves. D.E. (2010) "Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites." Journal of Cleaner Production 18 (2010) 313–327.

- Blengini, A.; Busto, M.; Fantoni, M.; Fino, D. (2012). "Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA." Waste Management 32 (2012) 1000–1008.

- Boustead, I "Eco-profiles of the european plastic industry - ABS", report for plasticseurope, Março 2005a.

- Boustead, I "Eco-profiles of the european plastic industry - PC", report for plasticseurope, Março 2011.

- Boustead, I "Eco-profiles of the european plastic industry - PET", report for plasticseurope, Março 2005.

- Boustead, I "Eco-profiles of the european plastic industry - PBT", report for plasticseurope, Março 2005.

- Cruz, N. (2013). "Implementação de ferramentas *Lean Manufacturing* no processo de injecção de plásticos" . Tese de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Guimarães.

- Ferreira, C. (2010). "Avaliação de Ciclo de Vida da desmilitarização de munições com valorização do material energético em explosivos civis." Tese de

Mestrado em Engenharia do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Ferreira, C., Ribeiro, J., Freire, F. (2013). "Comparative Life-Cycle Assessment of two car armrests produced at CIE Plasfil". Energy for Sustainability 2013, Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, 8-10 September 2013, Coimbra, Portugal.

- Goedkoop, M., Schryver, A. D., Oele, M., Durksz, S., Roest, D. (2010). Introduction to LCA with SimaPro 7. PRé Consultants.

- Ivan, M.; Joan, R.; Xavier, D.; Cristina, G. "Using LCA to Assess Eco-design in the Automotive Sector - Case Study of a Polyolefinic Door Panel**.**"Int J LCA 11 (5) 323 – 334 (2006).

- Jimenez, I. Personal Communications, 29/04/2014, Espanha Gecomplast S.L.

- Lopes, C. Personal Communications, 27/03/2014, Portugal Caetano Coatings S.A.

- Mendes. N., (2013). "Métodos e modelos de caracterização para Avaliaçãp de Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil". Tese de Mestrado em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- Plastics Europe (2014). www.plasticseurope.org. Consultado em 27-02-2014.

- R. Clift.; A.Doig.; G. Finnveden.; (2000). "The Aplication of Life Cycle Assessment to integrate solid waste management: Part 1-Metodology. Institution of Chemical Engineer, Trans IChemE, Vol 78, Part B.

- Reis. C., (2008). "Optimização de processos de pintura anticorrosiva por electrodeposição cataforética na indústria automóvel". Dissertação de Mestrado em Engenharia química. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal.

- Rosa, D. (2014). "Avaliação de Ciclo de Vida da castanha e do tomate em Portugal". Tese de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Rosario, V.; Pilar, M.; Daniel, G. "Life cycle assessment of composite materials made of recycled thermoplastics combined with rice husks and cotton linters." Int J Life Cycle Assess (2009) 14:73–82.

- Ross. S.; Evans. D. (2003). "The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system." Journal of Cleaner Production 11 (2003) 561–571.

- Santos, M. (2010). "Avaliação de Ciclo de Vida de louça cerâmica sanitária". Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Saravanan, R.; Lino, S.; Alma, H.; Constantinos, S.; Mariam, A. "Environmental impact assessment of composites containing recycled plastics." Resources, Conservation and Recycling 60 (2012) 131-139.

- Shen, L.; Worrell, E.; Patel, M. (2010). "Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling." Resources, Conservation and Recycling 55 (2010) 34–52.

- Smith, W.F. "Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais" (3ªed.). McGraw-Hill.

- Witik. R.; Jérôme. P.; Véronique. M.; Christian. L..; Jan-Anders. M. (2011). "Assessing the life cycle costs and environmental performance of lightweight materials in automobile applications". Composites: Part A 42 (2011) 1694-1709.

APÊNDICE A – TEMPERATURAS E TEMPOS DE SECAGEM DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PROCESSO DE INJECÇÃO

Na Figura A.1 está representado o *process flow* das principais etapas do ciclo de vida de uma peça produzida na CIE Plasfil, as quais indicam os processos por onde são movimentadas as matérias-primas e produtos de entrada e de saída da CIE Plasfil.

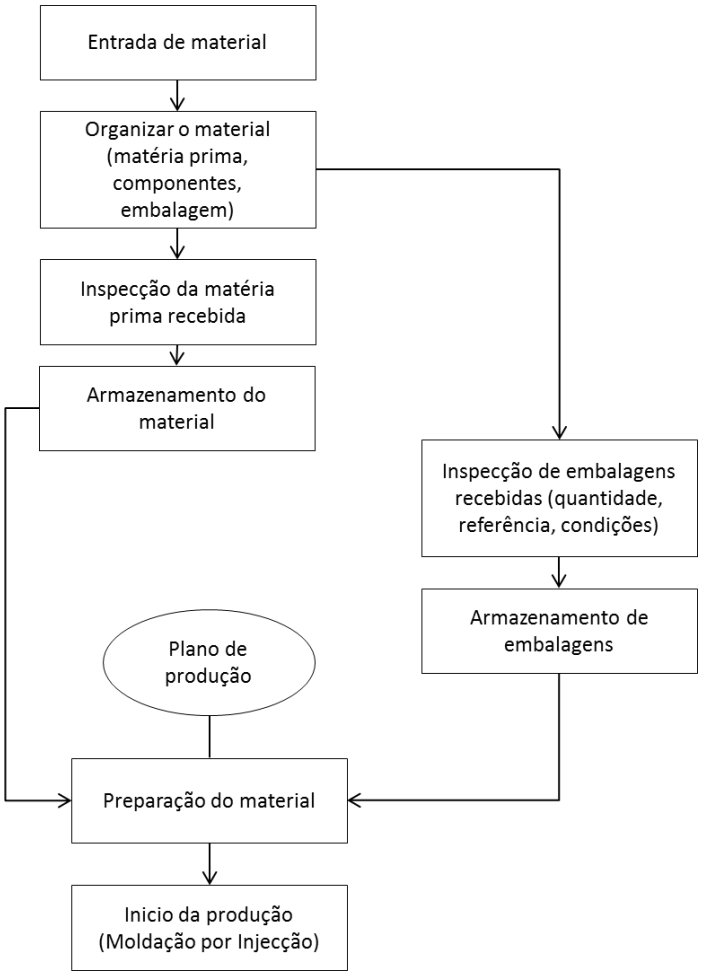

Figura A.1 - Planeamento e preparação de um ciclo produtivo da CIE Plasfil.

A Tabela A.1 inclui as temperaturas e tempos de secagem das matérias-primas.

Tabela A.1 - Temperaturas e tempos de secagem das matérias-primas.

Matéria-prima	Temperatura de Secagem (˚C)	Tempo de Secagem (h)
ABS-PC	110	4
PBT PET GF30	120	5,5
PP GF30	108	4,5

Processo de injecção dos polímeros de matéria-prima:

1. Fecho do molde – Operação que consiste no início do ciclo, onde o fuso empurra o material fundido até ao molde (arrefecido).

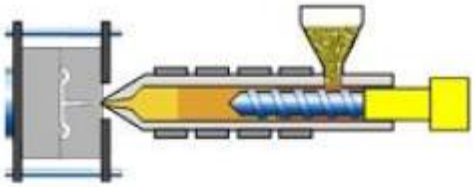

Figura A.2 - Fecho do molde.

2. Fase de Injecção e Pressurização – Na fase de injecção o material é forçado a entrar no molde fluindo para o interior da sua cavidade. Após o preenchimento do molde, a pressurização vai aumentar a pressão no molde compensando a contracção do material (vazios).

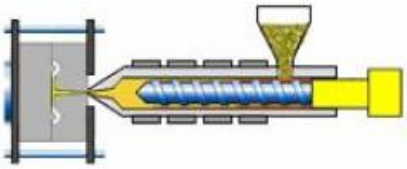

Figura A.3 - Fase de injecção e pressurização.

3. Fase de Arrefecimento – Após a solidificação da peça, esta fase termina assim que a mesma atinja uma temperatura que permita a sua desmoldagem sem que ocorra deformação.

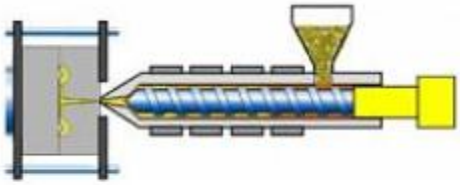

Figura A.4 - Fase de arrefecimento.

4. Fase de Extracção – Consiste na abertura do molde e extracção da peça. Trata-se de uma fase crítica pois é feita a separação simultânea do canal de injecção e dos canais de alimentação. Assim, nesta fase são usados dispositivos auxiliares (robot pneumático).

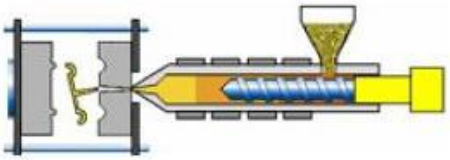

Figura A.5 - Fase de extracção.

APÊNDICE B – PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DOS DIFERENTES POLÍMEROS

A Tabela B.1 mostra as propriedades mecânicas e térmicas das matérias-primas utilizadas na produção das peças automóveis em estudo.

Tabela B.1 - Características mecânicas e térmicas das matérias-primas.

Polímeros	**Densidade (g/cm^3)**	**Resistência à tracção (MPa)**	**Resistência ao impacto (J/m)**	**Resistência dieléctrica (kV/mm)**	**Temperatura máxima de utilização (ºC)**
ABS	1,05-1,07	41	320	15	70-95
PC	1,2	62	640-850	15	120
POM	1,42	70	75	13	90
PBT	1,31	55-57	64-70	23-28	120
PET	1,37	72	43	23-20	80
PP	0,90-0,91	33-38	20-120	26	105-150

APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DA RECICLAGEM DE ABS-PC NA GECOMPLAST S.L.

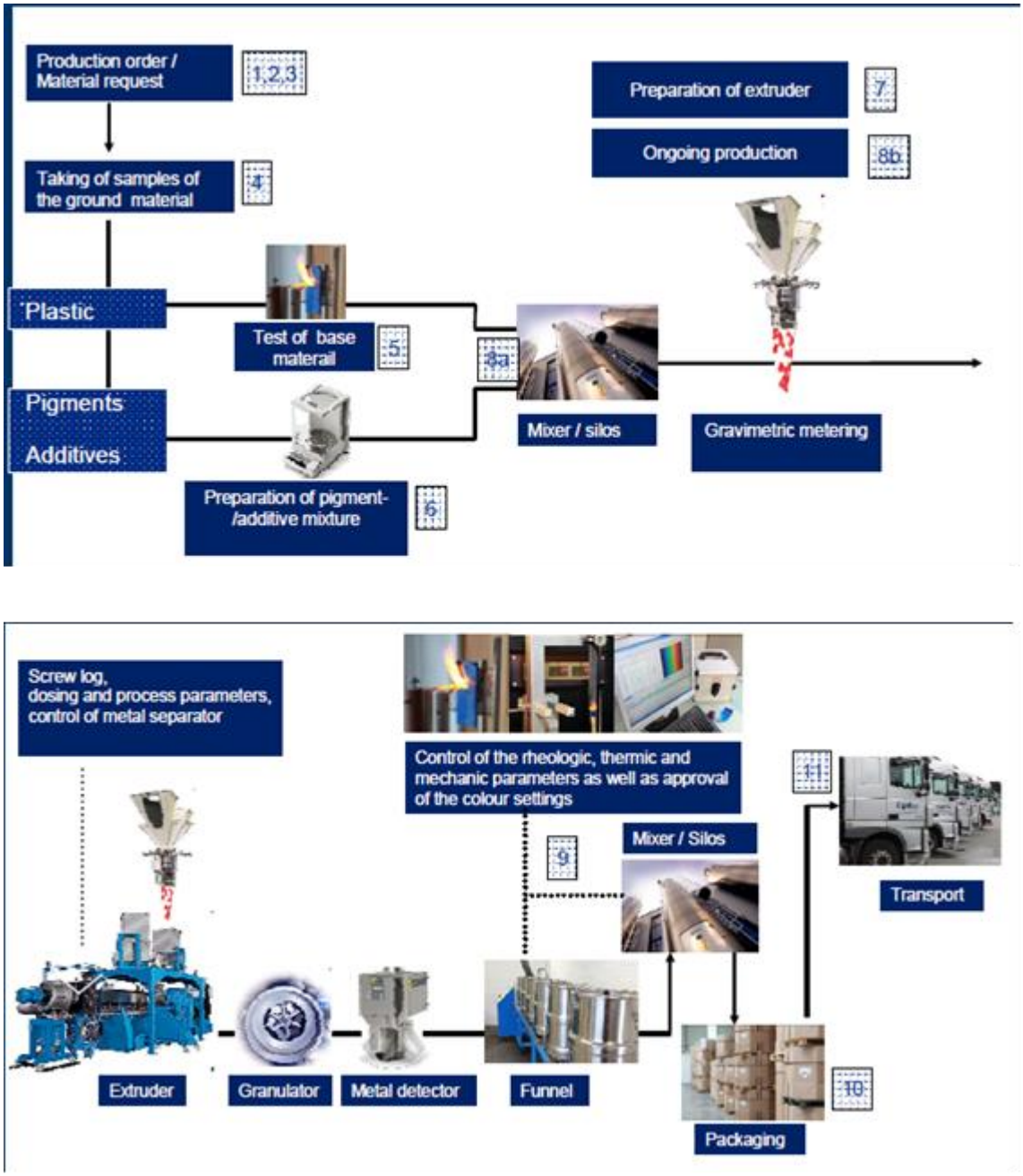

Figura C.1 – Reciclagem de matéria-prima da empresa Gecomplast S.L. (disponibilizado de Gecomplast S.L)

APÊNDICE D – PROCESSO DE CATAFORESE DA CAETANO COATINGS S.A.

O *armrest* B é sujeito ao processo de cataforese que implica algumas fases que se englobam em três zonas distintas: pré-tratamento, pintura e zona de cura. A Figura D.1 apresenta o processo de cataforese que ocorre na Caetano Coatings S.A.

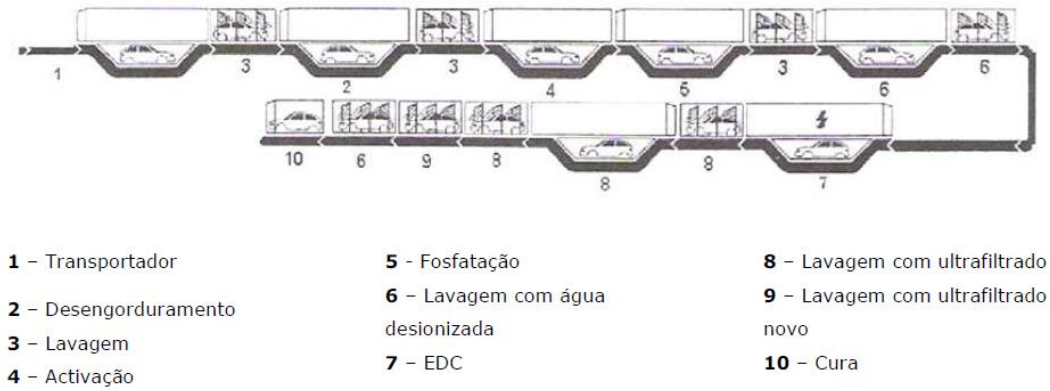

Figura D.1 - Processo de cataforese (adaptado de Reis. 2008).

Neste processo, a zona de pré-tratamento abrange as fases da montagem de peças, pré-desengorduramento, desengorduramento, activação e fosfatação. Aqui, as peças são montadas e colocadas num suporte até à fase de pré-desengorduramento onde estas sofrem aspersão e posterior imersão num tanque de água quente constituído por produtos alcalinos. As matérias gordas que a peça possa conter saponificam devido ao calor do banho e transformam-se em sabão sendo posteriormente eliminadas. Após esta fase, a peça é transferida para o tanque de activação onde se inicia a preparação da tinta que promove a formação de núcleos de titânio na superfície metálica proporcionando melhor adesão da tinta. Na fase seguinte, a fosfatação compreende um tratamento químico anticorrosivo dos metais que leva ao desenvolvimento de uma camada fina e insolúvel de fosfatos no substrato metálico. Esta fase é de extrema importância porque ajuda a proteger o metal contra possíveis corrosões aumentando a aderência da tinta

implementada. E finalmente, a passivação acaba com a lavagem da peça selando desta forma o tratamento anticorrosivo.

A zona da pintura composta pela etapa da cataforese compreende a electrodeposição catódica ou seja, as partículas de tinta carregadas positivamente deslocam-se até à peça e reagem com os grãos formando um película de tinta que vai proteger a peça da corrosão. Neste mesmo tanque existe uma unidade de ultrafiltração que aumenta a eficiência de utilização da tinta em 100% e retém o ligante e os pigmentos anteriormente aplicados na membrana da peça.

Na zona de secagem, dá-se a recuperação da tinta arrastada nas peças através de um sistema de ultrafiltração. Após a fase de lavagem das mesmas a tinta é polimerizada num forno a elevadas temperaturas apresentando um revestimento duro e aderente.

APÊNDICE E – CATEGORIAS DE IMPACTE AMBIENTAL

O *software* SimaPro7 utilizado neste estudo é uma ferramenta flexível que possibilita a análise ambiental de produtos, serviços e processos dentro da perspectiva de Ciclo de Vida seguindo as recomendações das normas ISO 14040 e 14044.

O método CML 2 *baseline* 2000 considera as seguintes categorias de impacte ambiental:

Depleção abiótica

Este indicador de categoria de impacte refere-se à extracção de minerais e de combustíveis fósseis que entram num sistema. A unidade geralmente utilizada nesta categoria é o kg Sb eq.

Acidificação

As substâncias que mais contribuem para esta categoria (SO_2 e NO_X) causam uma variedade de impactes no solo, água subterrânea, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais. O potencial de acidificação (AP) de uma emissão gasosa ou líquida é calculado com base na equivalência do seu efeito em termos de SO_2 numa base mássica (kg SO_2 eq).

Eutrofização

Esta categoria de impacte ocorre quando se verifica um excesso de nutrientes, azoto (N) e fósforo (P) no solo ou na água que leva a uma redução da diversidade ecológica. O potencial de eutrofização é expresso em kg de PO_4^{3-} eq.

Aquecimento global

O aquecimento global de uma substância está relacionado com a absorção de radiação resultante da descarga de 1 kg de um gás com efeito de estufa. O potencial de aquecimento global (GWP) é expresso em kg de CO_2 eq.

Depleção da camada de ozono

Esta categoria resulta do aumento dos raios ultravioleta que atingem a superfície terrestre devido ao aumento da concentração de gases na ionosfera provenientes de emissões atmosféricas geradas pelo Homem. O potencial da camada de ozono (ODP) é expresso em kg CFC-11 eq.

Oxidação fotoquímica

Os oxidantes fotoquímicos são poluentes secundários que resultam da queima de combustíveis e solventes. O potencial de oxidação fotoquímica (POCP) é descrito por kg de C_2H_4 eq.

O método ***Cumulative Energy Demand (***CED) consiste em:

O método CED tem como finalidade avaliar a utilização de energia de um componente ou serviço desde a sua extracção até à fase final permitindo melhorar a eficiência energética das diferentes fases do ciclo de vida quando são detectados elevados picos de energia.

O método **USEtox:**

O método USEtox foi projectado para descrever o destino, exposição e efeitos dos produtos químicos fornecendo factores de caracterização recomendados para a toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce na avaliação dos impactes ambientais do ciclo de vida de um produto ou serviço.

APÊNDICE F – RESULTADOS DO ACV DO PUXADOR DE PORTA

Tabela F.1 - Resultados do ACV do puxador de porta do cenário de produção A para França e Rússia.

	Categoria de impacte	ABS PC	Transporte de ABS PC: Alemanha (Sabic) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte do puxador de porta: Portugal (CIE Plasfil) - França (Faurecia)	Caixa de Plástico	Palete de Plástico	Electricidade de Injecção
Cenário de produção A: França	Depleção abiótica [kg Sb eq]	5,55E-03	8,09E-04	7,36E-04	8,56E-09	2,44E-07	2,04E-03
	Acidificação [kg SO_2 eq]	2,61E-03	3,35E-04	3,04E-04	1,64E-09	4,67E-08	7,18E-04
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	2,63E-04	9,40E-05	8,55E-05	1,77E-10	5,06E-09	1,24E-04
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	8,09E-01	1,15E-01	1,05E-01	5,17E-07	1,47E-05	8,03E-02
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	6,35E-10	1,75E-08	1,59E-08	1,41E-16	4,01E-15	4,84E-09
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,44E-04	1,46E-05	1,33E-05	1,11E-10	3,17E-09	2,68E-05
	Energia primária [MJ]	1,20E+01	1,97E+00	1,79E+00	1,98E-05	5,66E-04	1,30E+00
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,29E-12	2,95E-12	2,68E-12	3,55E-19	1,01E-17	4,37E-12
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	2,31E-12	8,21E-12	7,47E-12	2,51E-19	7,16E-18	2,27E-12
	Ecotoxicidade [CTUe]	8,51E-03	2,13E-04	1,94E-04	4,92E-10	1,40E-08	3,91E-05
Cenário de produção A: Rússia	Categoria de impacte	ABS PC	Transporte de ABS PC: Alemanha (Sabic) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte do puxador de porta: Portugal (CIE Plasfil) - Rússia (Faurecia)	Caixa de Cartão	Palete de Madeira	Electricidade de Injecção
	Depleção abiótica [kg Sb eq]	5,55E-03	8,09E-04	1,63E-03	7,10E-05	8,69E-08	2,04E-03
	Acidificação [kg SO_2 eq]	2,61E-03	3,35E-04	6,75E-04	3,01E-05	3,91E-08	7,18E-04
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	2,63E-04	9,40E-05	1,90E-04	1,45E-05	1,61E-08	1,24E-04
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	8,09E-01	1,15E-01	2,32E-01	8,26E-03	8,66E-06	8,03E-02
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	6,35E-10	1,75E-08	3,52E-08	1,54E-09	5,84E-13	4,84E-09
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,44E-04	1,46E-05	2,94E-05	2,03E-06	5,37E-09	2,68E-05
	Energia primária [MJ]	1,20E+01	1,97E+00	3,97E+00	2,66E-01	8,80E-04	1,30E+00
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,29E-12	2,95E-12	5,95E-12	1,26E-12	9,21E-15	4,37E-12
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	2,31E-12	8,21E-12	1,65E-11	7,72E-13	1,92E-15	2,27E-12
	Ecotoxicidade [CTUe]	8,51E-03	2,13E-04	4,30E-04	1,28E-03	5,23E-06	3,91E-05

Tabela F.2 - Resultados do ACV do puxador de porta do cenário de produção B para França e Rússia.

Cenário de produção B: França	Categoria de impacte	ABS PC	Caixa de Plástico	Palete de Plástico	Transporte de ABS PC: Alemanha (Sabic) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte do puxador de porta: Portugal (CIE Plasfil)- França (Faurecia)	Electricidade de Injecção	Electricidade de Trituração
	Depleção abiótica [kg Sb eq]	5,40E-03	8,56E-09	2,44E-07	7,89E-04	7,36E-04	6,10E-04	1,05E-06
	Acidificação [kg SO_2 eq]	2,54E-03	1,64E-09	4,67E-08	3,26E-04	3,04E-04	7,18E-04	1,24E-06
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	2,56E-04	1,77E-10	5,06E-09	9,17E-05	8,55E-05	1,24E-04	2,13E-07
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	7,88E-01	5,17E-07	1,47E-05	1,12E-01	1,05E-01	8,03E-02	1,38E-04
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	6,18E-10	1,41E-16	4,01E-15	1,70E-08	1,59E-08	4,84E-09	8,33E-12
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,40E-04	1,11E-10	3,17E-09	1,42E-05	1,33E-05	2,68E-05	4,62E-08
	Energia primária [MJ]	1,17E+01	1,98E-05	5,66E-04	1,92E+00	1,79E+00	1,30E+00	2,24E-03
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,25E-12	3,55E-19	1,01E-17	2,88E-12	2,68E-12	4,37E-12	7,52E-15
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	2,25E-12	2,51E-19	7,16E-18	8,01E-12	7,47E-12	2,27E-12	3,91E-15
	Ecotoxicidade [CTUe]	8,29E-03	4,92E-10	1,40E-08	2,08E-04	1,94E-04	3,91E-05	6,73E-08

Cenário de produção B: Rússia	Categoria de impacte	ABS PC	Caixa de Cartão	Palete de Madeira	Transporte de ABS PC: Alemanha (Sabic) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte do puxador de porta: Portugal (CIE Plasfil) - Rússia (Faurecia)	Eletricidade de injecção	Eletricidade de Trituração
	Depleção abiótica [kg Sb eq]	5,40E-03	7,10E-05	8,69E-08	7,89E-04	1,63E-03	6,10E-04	1,05E-06
	Acidificação [kg SO_2 eq]	2,54E-03	3,01E-05	3,91E-08	3,26E-04	6,75E-04	7,18E-04	1,24E-06
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	2,56E-04	1,45E-05	1,61E-08	9,17E-05	1,90E-04	1,24E-04	2,13E-07
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	7,88E-01	8,26E-03	8,66E-06	1,12E-01	2,32E-01	8,03E-02	1,38E-04
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	6,18E-10	1,54E-09	5,84E-13	1,70E-08	3,52E-08	4,84E-09	8,33E-12
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,40E-04	2,03E-06	5,37E-09	1,42E-05	2,94E-05	2,68E-05	4,62E-08
	Energia primária [MJ]	1,17E+01	2,66E-01	8,80E-04	1,92E+00	3,97E+00	1,30E+00	2,24E-03
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,25E-12	1,26E-12	9,21E-15	2,88E-12	5,95E-12	4,37E-12	7,52E-15
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	2,25E-12	7,72E-13	1,92E-15	8,01E-12	1,65E-11	2,27E-12	3,91E-15
	Ecotoxicidade [CTUe]	8,29E-03	1,28E-03	5,23E-06	2,08E-04	4,30E-04	3,91E-05	6,73E-08

Tabela F.3 - Resultados do ACV do puxador de porta do cenário de produção C para França e Rússia.

	Categoria de impacte	Reciclagem ABS PC	Caixa de Plástico	Palete de Plástico	Transporte ABC PC reciclado: Espanha (Gecomplast) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte do puxador de porta: Portugal (CIE Plasfil) - França (Faurecia)	Electricidade de Injecção	Electricidade de Trituração
Cenário de produção C: França	Depleção abiótica [kg Sb eq]	2,63E-04	8,56E-09	2,44E-07	3,22E-04	7,36E-04	6,10E-04	1,05E-06
	Acidificação [kg SO_2 eq]	3,09E-04	1,64E-09	4,67E-08	1,33E-04	3,04E-04	7,18E-04	1,24E-06
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	5,32E-05	1,77E-10	5,06E-09	3,74E-05	8,55E-05	1,24E-04	2,13E-07
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	3,46E-02	5,17E-07	1,47E-05	4,58E-02	1,05E-01	8,03E-02	1,38E-04
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	2,09E-09	1,41E-16	4,01E-15	6,94E-09	1,59E-08	4,84E-09	8,33E-12
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,16E-05	1,11E-10	3,17E-09	5,79E-06	1,33E-05	2,68E-05	4,62E-08
	Energia primária [MJ]	5,62E-01	1,98E-05	5,66E-04	7,82E-01	1,79E+00	1,30E+00	2,24E-03
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,88E-12	3,55E-19	1,01E-17	1,17E-12	2,68E-12	4,37E-12	7,52E-15
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	9,80E-13	2,51E-19	7,16E-18	3,26E-12	7,47E-12	2,27E-12	3,91E-15
	Ecotoxicidade [CTUe]	1,69E-05	4,92E-10	1,40E-08	8,48E-05	1,94E-04	3,91E-05	6,73E-08
Cenário de produção C: Rússia	Categoria de impacte	Reciclagem ABS PC	Caixa de Cartão	Palete de Madeira	Transporte ABS PC reciclado: Espanha (Gecomplast) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte do puxador de porta: Portugal (CIE Plasfil) - Rússia (Faurecia)	Electricidade de Injecção	Electricidade de Trituração
	Depleção abiótica [kg Sb eq]	2,63E-04	7,10E-05	8,66E-08	3,22E-04	1,63E-03	6,10E-04	1,05E-06
	Acidificação [kg SO_2 eq]	3,09E-04	3,01E-05	3,90E-08	1,33E-04	6,75E-04	7,18E-04	1,24E-06
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	5,32E-05	1,45E-05	1,60E-08	3,74E-05	1,90E-04	1,24E-04	2,13E-07
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	3,46E-02	8,26E-03	8,63E-06	4,58E-02	2,32E-01	8,03E-02	1,38E-04
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	2,09E-09	1,54E-09	5,82E-13	6,94E-09	3,52E-08	4,84E-09	8,33E-12
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,16E-05	2,03E-06	5,35E-09	5,79E-06	2,94E-05	2,68E-05	4,62E-08
	Energia primária [MJ]	5,62E-01	2,66E-01	8,78E-04	7,82E-01	3,97E+00	1,30E+00	2,24E-03
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,88E-12	1,26E-12	9,19E-15	1,17E-12	5,95E-12	4,37E-12	7,52E-15
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	9,80E-13	7,72E-13	1,92E-15	3,26E-12	1,65E-11	2,27E-12	3,91E-15
	Ecotoxicidade [CTUe]	1,69E-05	1,28E-03	5,21E-06	8,48E-05	4,30E-04	3,91E-05	6,73E-08

APÊNDICE G – RESULTADOS DO ACV DO *ARMREST*

Tabela G.1 - Resultados do ACV do *armrest* B.

	Categoria de impacte	PP	Aço	Transporte Espanha (CIE Udalbide) - Portugal (Caetano Coatings S.A.)	Transporte Espanha (Basel) - Portugal (CIE Plasfil)	Caixa de Plástico	Palete de Plástico	Transporte Portugal (CIE Plasfil) - Espanha (Faurecia)	Cataforese
Armrest B	Depleção abiótica [kg Sb eq]	3,50E-03	7,40E-03	2,98E-03	3,94E-04	6,32E-08	1,81E-06	1,88E-03	1,62E-03
	Acidificação [kg SO_2 eq]	6,70E-04	3,42E-03	1,23E-03	1,63E-04	1,21E-08	3,46E-07	7,78E-04	1,91E-03
	Eutrofização [kg PO_4^{-3} eq]	7,26E-05	2,04E-03	3,47E-04	4,59E-05	1,31E-09	3,75E-08	2,18E-04	3,29E-04
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	2,12E-01	8,86E-01	4,25E-01	5,62E-02	3,82E-06	1,09E-04	2,68E-01	2,14E-01
	Depleção da camada de ozono [kg CFC-11 eq]	5,76E-11	3,51E-08	6,44E-08	8,51E-09	1,04E-15	2,97E-14	4,06E-08	1,29E-08
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	4,55E-05	4,47E-04	5,38E-05	7,11E-06	8,21E-10	2,35E-08	3,39E-05	7,14E-05
	Energia primária [MJ]	8,11E+00	1,42E+01	7,26E+00	9,60E-01	1,46E-04	4,19E-03	4,57E+00	3,47E+00
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,45E-13	1,12E-10	1,09E-11	1,44E-12	2,62E-18	7,51E-17	6,85E-12	1,16E-11
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	1,03E-13	2,16E-10	3,03E-11	4,00E-12	1,86E-18	5,31E-17	1,91E-11	6,09E-12
	Ecotoxicidade [CTUe]	2,01E-04	4,60E-04	7,87E-04	1,04E-04	3,63E-09	1,04E-07	4,96E-04	1,82E-04

Tabela G.2 - Resultados do ACV do *armrest* J.

	Categoria de impacte	Aço	PBT PET GF30	Transporte de PBT PET GF30: Holanda (Sabic) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte de Aço: Portugal (Luìs da Graça) - Portugal (CIE Plasfil)	Caixa de Cartão	Palete de Madeira	Transporte do Armrest J: Portugal (CIE Plasfil) - França (Visteon)	Eletricidade de Produção
Amrest J	Depleção abiótica [kg Sb eq]	6,68E-04	1,62E-02	2,85E-03	3,08E-05	4,39E-05	1,07E-07	3,07E-03	2,60E-03
	Acidificação [kg SO_2 eq]	3,09E-04	6,86E-03	1,18E-03	1,28E-05	1,86E-05	4,81E-08	1,27E-03	3,06E-03
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	1,84E-04	9,35E-04	3,31E-04	3,58E-06	8,94E-06	1,98E-08	3,57E-04	5,26E-04
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	7,99E-02	1,38E+00	4,06E-01	4,39E-03	5,11E-03	1,07E-05	4,37E-01	3,42E-01
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	3,17E-09	2,94E-08	6,15E-08	6,65E-10	9,53E-10	7,19E-13	6,62E-08	2,06E-08
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	4,03E-05	3,38E-04	5,14E-05	5,56E-07	1,26E-06	6,61E-09	5,53E-05	1,14E-04
	Energia primária [MJ]	1,28E+00	3,71E+01	6,94E+00	7,50E-02	1,64E-01	1,08E-03	7,47E+00	5,55E+00
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	1,01E-11	1,36E-11	1,04E-11	1,12E-13	7,77E-13	1,13E-14	1,12E-11	1,86E-11
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	1,95E-11	2,29E-11	2,89E-11	3,13E-13	4,77E-13	2,37E-15	3,11E-11	9,67E-12
	Ecotoxicidade [CTUe]	4,16E-05	6,44E-04	7,52E-04	8,13E-06	7,91E-04	6,43E-06	8,10E-04	1,67E-04

Tabela G.3 - Resultados do ACV do *armrest* J_novo *design*.

	Categoria de impacte	PBT PET GF30	Aço	PP GF30	Transporte PBT PET GF30: Holanda (Sabic) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte PP GF30: Itália (Taroplast) - Portugal (CIE Plasfil)	Transporte de Aço: Portugal (Luìs da Graça) - Portugal (CIE Plasfil)	Caixa de Cratão	Palete de Madeira	Transporte da peça: Portugal (CIE Plasfil) - França (Visteon)	Electricidade de Produção
Armrest J_novo design	Depleção abiótica [kg Sb eq]	9,06E-03	6,68E-04	4,43E-03	1,91E-03	1,07E-03	3,08E-05	4,39E-05	1,07E-07	2,87E-03	2,23E-03
	Acidificação [kg SO_2 eq]	3,83E-03	3,09E-04	1,41E-03	7,88E-04	4,42E-04	1,28E-05	1,86E-05	4,81E-08	1,19E-03	2,62E-03
	Eutrofização [kg PO_4^{3-} eq]	5,22E-04	1,84E-04	2,74E-04	2,22E-04	1,24E-04	3,58E-06	8,94E-06	1,98E-08	3,34E-04	4,51E-04
	Aquecimento global [kg CO_2 eq]	7,72E-01	7,99E-02	3,37E-01	2,71E-01	1,52E-01	4,39E-03	5,11E-03	1,07E-05	4,09E-01	2,93E-01
	Depleção da camada de ozono [kg CFC^{-11} eq]	1,64E-08	3,17E-09	9,31E-09	4,11E-08	2,30E-08	6,65E-10	9,53E-10	7,19E-13	6,20E-08	1,77E-08
	Oxidação fotoquimica [kg C_2H_4 eq]	1,89E-04	4,03E-05	7,36E-05	3,43E-05	1,92E-05	5,56E-07	1,26E-06	6,61E-09	5,18E-05	9,79E-05
	Energia primária [MJ]	2,07E+01	1,28E+00	1,04E+01	4,64E+00	2,60E+00	7,50E-02	1,64E-01	1,08E-03	6,99E+00	4,75E+00
	Toxicidade humana (cancro) [CTUh]	7,59E-12	1,01E-11	4,18E-12	6,95E-12	3,89E-12	1,12E-13	7,77E-13	1,13E-14	1,05E-11	1,59E-11
	Toxicidade humana (sem cancro) [CTUh]	1,28E-11	1,95E-11	7,23E-12	1,93E-11	1,08E-11	3,13E-13	4,77E-13	2,37E-15	2,92E-11	8,29E-12
	Ecotoxicidade [CTUe]	3,60E-04	4,16E-05	2,68E-04	5,03E-04	2,82E-04	8,13E-06	7,91E-04	6,43E-06	7,58E-04	1,43E-04