

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS AUGUSTO BORGES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE COM A ADOÇÃO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SUSTENTÁVEL CIRCULAR EM
EMPRESAS DO SETOR DE AUTOPEÇAS**

São Paulo
2024

CARLOS AUGUSTO BORGES DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE COM A ADOÇÃO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SUSTENTÁVEL CIRCULAR EM
EMPRESAS DO SETOR DE AUTOPEÇAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto

Co-orientador: Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz

São Paulo

2024

Silva, Carlos Augusto Borges da.

Avaliação da sustentabilidade com a adoção de desenvolvimento de produto sustentável circular em empresas do setor de autopeças. / Carlos Augusto Borges da Silva. 2024.

142 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2024.

Orientador (a): Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto.

1. Economia circular. 2. Desenvolvimento de produto sustentável. 3. DfE. 4. Ecodesign.

I. Oliveira Neto, Geraldo Cardoso de. II. Título

CDU 658.5

PARECER – EXAME DE DEFESA

Parecer da Comissão Examinadora designada para o exame de defesa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção a qual se submeteu o aluno CARLOS AUGUSTO BORGES DA SILVA.

Tendo examinado o trabalho apresentado para obtenção do título de "Doutor em Engenharia de Produção", com Tese intitulada "AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE COM A ADOÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO SUSTENTÁVEL CIRCULAR EM EMPRESAS DO SETOR DE AUTOPEÇAS", a Comissão Examinadora considerou o trabalho:

- Aprovado Aprovado condicionalmente
 Reprovado com direito a novo exame Reprovado

EXAMINADORES

Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto ORIENTADOR (PGEPR-UFABC)

Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz COORIENTADOR (PPGEP-UNINOVE)

Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto MEMBRO EXTERNO (PPGI-UNINOVE)

Prof. Dr. Walter Sátyro MEMBRO EXTERNO (PPGP-UNINOVE)

Prof. Dr. Fabio Richard Flausino MEMBRO EXTERNO (SABESP)

Prof. Dr. Fabio Henrique Pereira MEMBRO INTERNO (PPGEP-UNINOVE)

AGRADECIMENTOS

- Meus agradecimentos primeiramente a Deus que nos deu força diária para conclusão deste trabalho;
- A bolsa CAPES – PROSUP por ter acreditado e incentivado este projeto;
- Destaque especial ao meu orientador Professor Doutor Geraldo Cardoso de Oliveira Neto pela paciência e ensinamentos;
- Ao Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz por ser o co-orientador;
- A Universidade Nove de Julho – UNINOVE pela bolsa de estudos do Doutorado em Engenharia de Produção;
- Ao time do PPGEP da UNINOVE do Campus Vergueiro por todo o suporte durante o curso;
- Aos Professores Doutores Luiz Fernando Rodrigues Pinto, Fábio Henrique Pereira, Walter Cardoso Satyro e Fabio Richard Flausino pelos ensinamentos durante o processo de Qualificação e da banca de defesa da Tese;
- Aos profissionais das empresas pesquisadas aqui em anonimato pelo tempo dispendido durante os levantamentos das informações;
- Finalmente, a minha filha Isabella Rincha Borges da Silva e minha esposa Katia Rincha Borges da Silva pela paciência e horas de distanciamento destinadas a confecção e finalização deste trabalho.

RESUMO

Nos últimos anos a sociedade foi direcionando os setores fabris a possuírem uma maior consciência ambiental visando um bem maior à população. Isso impulsionou às empresas a terem em seus portfolios, produtos que atendessem várias tendências ambientais e de sustentabilidade que convergissem para a utilização de uma estratégia de Economia Circular. Porém empresas possuem métricas econômicas e operacionais que devem ser incorporadas as estratégias macro ambientais e sociais a fim de serem suportadas pelas altas gestões corporativas. Para tanto, a necessidade de práticas de *Design for Environment* e *Ecodesign* desde antes do início do processo de desenvolvimento de um novo produto sustentável é importante. Neste contexto, o objetivo geral do presente trabalho visa avaliar os ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do Desenvolvimento de Produto Sustentável (DPS) considerando à Economia Circular (EC) em empresas de autopeças localizadas no Brasil. O método utilizado foi estudo de caso, realizado em uma empresa produtora de peças ao setor automotivo onde se aplicou uma proposta do *framework* DPS considerando a EC e *check-list* que serviu de guia para as etapas de *design* e desenvolvimento de um produto sustentável. Como resultados, verificou-se que é totalmente aplicável o *framework* DPS considerando a EC proposto desde a etapa de *design* de produto até as etapas anteriores à produção, com a aplicação do *check-list* que servirá como guia para a implantação das práticas de DPS e refletindo em ganhos econômicos, ambientais e sociais conforme demonstrado no Estudo de Caso proposto neste trabalho.

Palavras-chave: Economia Circular. Desenvolvimento de Produto Sustentável. *DfE*. *Ecodesign*.

ABSTRACT

In the last years, society has been enforcing the manufacturing sectors to have greater environmental awareness for population wellness. It is encouraged by companies to have products in their portfolios that meet various environmental and sustainability trends that cover the use of a Circular Economy strategy. However, companies have economic and operational metrics that must be incorporated into macro environmental and social strategies in order to be supported by senior corporate management. Therefore, the need for Design for Environment and Ecodesign practices from before the start of the development process of a new sustainable product is important. In this context, the general objective of this work aims to evaluate the economic, environmental and social gains of adopting Sustainable Product Development (SPD) considering the Circular Economy (CE) in auto parts companies located in Brazil. The method used was a case study, carried out in one company producing parts for the automotive sector, where a proposal for the SPD framework considering the CE and a checklist were applied that served as a guide for the design and development stages of a sustainable product. As a result, it was verified that the SPD framework is fully applicable considering the proposed CE from the product design stage to the stages prior to production, with the application of the checklist that will serve as a guide for the implementation of SPD practices and reflecting in economic, environmental and social gains as demonstrated in the Case Study proposed in this work.

Keywords: Circular Economy. Sustainable Product Development. DfE. Ecodesign.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da estrutura do trabalho.....	22
Figura 2 – Prisma referente a Revisão Sistemática de Literatura.....	29
Figura 3 – Gráfico da Revisão Bibliométrica – Publicações por Método de Pesquisa.....	30
Figura 4 – Gráfico da Revisão Bibliométrica – Publicações por Ano das Pesquisas.....	31
Figura 5 - Gráfico da Revisão Bibliométrica – Publicações por País.....	32
Figura 6 – Modelo de Processo de Desenvolvimento de Produto de Rozenfeld.....	51
Figura 7 – Modelo de Processo de DPS de Vezzoli e Manzini.....	52
Figura 8 – Modelo de Processo de DPS ReSOLVE.....	53
Figura 9- <i>Framework</i> DPS considerando a EC.....	54
Figura 10 – Servo Embreagem para veículos comerciais.....	63
Figura 11 - Fluxograma do processo de manufatura de sistema de Servo Embreagem.....	64
Figura 12 – Fases da ACV.....	69
Figura 13 – Servo embreagem em corte com numeração dos componentes.....	70
Figura 14 – Descarte de Servo Embreagem em fim de vida útil.....	73
Figura 15 – Gaxetas Termoplásticas.....	74
Figura 16 – Gaxetas de Borracha montadas anteriormente.....	76
Figura 17 – Teste de ciclagem das vedações em termoplástico.....	77
Figura 18 – Fluído de freio DOT 4.....	79
Figura 19 – <i>Kit</i> de reparo para o recondicionamento do produto.....	80
Figura 20 – Linha para o recondicionamento do produto.....	81
Figura 21 – Descarte e coleta de material termoplástico.....	84
Figura 22 – Quantidade de cavaco do processo de usinagem da carcaça em alumínio.....	85

Figura 23 – Processo de lavagem das carcaças de alumínio para retirada de cavacos do processo de furação e rosqueamento logo após o processo de usinagem.....	87
Figura 24 – Alteração de parafusos por fixadores químicos.....	92
Figura 25 – Coleta de embalagens de papelão realizados pela empresa.....	94
Figura 26 – Coleta de pallets de madeira realizados pela empresa.....	96
Figura 27 – Caixas KLT modelo 6425.....	98
Figura 28 – Sacos plásticos individuais por produto.....	99
Figura 29 – Embalagem anterior que foi eliminada.....	100
Figura 30 – Embalagem retornável alterada.....	101
Figura 31 – Comparativo entre a nova conexão <i>push-in</i> em termoplástico sem a necessidade de rosca com a conexão atual em latão.....	107
Figura 32 – Descarte de cavaco da empresa.....	109
Figura 33 – Recondicionamento de carcaças de alumínio.....	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Revisão Sistemática.....	38
TABELA 2 - Matriz de relacionamento entre Práticas de DPS e Etapas de Desenvolvimento Variáveis de ganhos ambientais.....	42
TABELA 3 – Variáveis de ganhos econômicos.....	45
TABELA 4 - Variáveis de ganhos ambientais.....	48
TABELA 5 - Variáveis de ganhos sociais.....	50
Tabela 6 - <i>Check-list</i> proposto para aplicação no estudo de caso.....	55
Tabela 7 - <i>Check-list</i> preenchido para o Estudo de Caso.....	66
TABELA 8 - Tabela 8 – BoM do Servo Embreagem.....	70
TABELA 9 – Balanceamento de Massa – Processo de Montagem.....	71
TABELA 10 – Servos embreagem descartados em fim de vida.....	73
TABELA 11 – Comparativo de propriedades do EPDM X TPE-U.....	75
TABELA 12 – Ganhos da aplicação da PDPS_02.....	78
TABELA 13 – Descarte de fluído hidráulico DOT 4.....	79
TABELA 14 – Ganho de mercado com recondicionamento de Servos Embreagem.....	81
TABELA 15 – Quantidade de redução de alumínio.....	83
TABELA 16 – Redução do consumo de energia.....	85
TABELA 17 – Redução do consumo de água.....	88
TABELA 18 – Composição do Latão.....	90
TABELA 19 – Descarte de latão por elemento de sua composição.....	91
TABELA 20 – Impacto da eliminação de fixadores mecânicos (parafusos).....	92
TABELA 21 – Redução de CO ₂ com a redução de coletas de termoplástico.....	93
TABELA 22 – Redução e ganho com embalagens de papelão.....	95

TABELA 23 – Redução em kg dos pallets de madeira.....	97
TABELA 24 – Redução em kg dos pallets de madeira.....	99
TABELA 25 – Redução de fretes referente a melhor acondicionamento de peças por embalagem.....	101
TABELA 26 – Ganhos com rotulagem ambiental.....	102
TABELA 27 – Redução de fretes referente a melhor acondicionamento de peças por embalagem.....	103
TABELA 28 – Ganhos referentes a exportação de produtos recondicionados.....	104
TABELA 29 – Balanceamento de massa referente a redução de peso do produto após aplicação. das PDPSs.....	105
TABELA 30 – Balanceamento de Massa para a carcaça de alumínio.....	108
TABELA 31 – Quantidade de redução em kg de um <i>o’ring</i>	110
TABELA 32 – Quantidade de redução de alumínio.....	111
TABELA 33 – Resumo dos ganhos por PDPS.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AHP - Analytical Hierarchy Process

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

C2C - Cradle-to-Cradle

CDMF-RELSUS - Collaborative Development, Manufacturing and Field Verification

CNCs - Comandos Numéricos Computadorizados

CO₂ – Dióxido de Carbono

CSPD - Checklist for Sustainable Product Development

DEMATEL - Decision Making Trial and Evaluation Laboratory

DfD - Design for Disassembly

DfE - Design for Environment

DFM - Design for Manufacture

DFMA - Design for Manufacture and Assembly

DP – Desenvolvimento de Produto

DPS – Desenvolvimento de Produto Sustentável

DR. - Doutor

DVD - Digital Versatile Disc

EC - Economia Circular

ECQFD - Environmentally Conscious Quality Function Deployment

EHS - Environmental, Health and Safety

ELVs - end-of-life vehicles

EPDM – Etileno Propileno

EUA – Estados Unidos da América

EV – Electric Vehicles

GEE - Gases de Efeito Estufa

GRI - Global Reporting Initiative

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

ISO - International Organization for Standardization

KG (s) – Kilo (s)

Km - Quilometro

M3 - Metro Cúbico

PA - Poliamida

PDDE – Prática de Design for Environment

PDP - Product Development Process

PDPS – Prática de Desenvolvimento de Produto Sustentável

PE - Práticas de Ecodesign

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

PLM - Product Lifecycle Management

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNUMA - Manual de Ecodesign do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Prof. - Professor

PROSUP - Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares

Q - Questão

R\$ - Reais

REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

RoHS - Restriction of Hazardous Substances

ROI - Retorno sobre o Investimento

RSL - Revisão Sistemática da Literatura

SD - Sustainable Development

SIMA - Systems Integration for Manufacturing Applications

SMPS - Sustainable Manufacturing Planning and Simulation

TPU - Termoplástico Uretano

TRIZ - Theory of Inventive Problem Solving

UNINOVE – Universidade Nove de Julho

WCED - World Commission Environment and Development

ZERI - Zero Emissions Research & Initiative *Wheel*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	12
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E PERGUNTA DE PESQUISA.....	16
1.3 OBJETIVO GERAL.....	19
1.3.1 Objetivos específicos.....	19
1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO.....	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA.....	23
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.....	28
2.2.1 Métodos utilizados nas publicações.....	30
2.2.2 Evolução das publicações.....	31
2.2.3 Publicações por Países.....	32
2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	33
2.3.1 Práticas de DPS considerando a EC.....	33
2.3.2 Matriz de relação de Práticas de DPS e Etapas de Desenvolvimento.....	41
2.3.3 Ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do DPS.....	43
2.3.3.1 Ganhos econômicos da adoção do DPS.....	43
2.3.3.2 Ganhos ambientais da adoção do DPS.....	46
2.3.3.3 Ganhos sociais da adoção do DPS.....	48
2.4 FRAMEWORK BASEADO NOS MODELOS DE DPS.....	50
3 METODOLOGIA.....	56
3.1 METODOLOGIA.....	56
3.2 PLANEJAMENTO DOS CASOS.....	56
3.2.1 Procedimento de Pesquisa.....	56
3.2.2 Escolha do Método à ser Utilizado.....	57
3.3 CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE CASOS.....	59
3.4 TRATAMENTO DOS DADOS.....	59
3.5 CRIAÇÃO DO <i>FRAMEWORK DPS</i> CONSIDERANDO A EC E <i>CHECK-LIST</i>	60

4 RESULTADOS.....	61
4.1 ESTUDO DE CASO	61
4.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA.....	61
4.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	62
4.4 APLICAÇÃO DO FRAMEWORK DPS CONSIDERANDO EC.....	65
4.4.1 Etapa de Pré-Desenvolvimento do DPS considerando a EC.....	67
4.4.2 Etapa Desenvolvimento do DPS considerando a EC.....	73
4.4.3 Etapa de Pré-Produção do DPS considerando a EC.....	106
5 DISCUSSÃO.....	114
6 CONCLUSÃO.....	121
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 . CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos últimos anos, a adoção do Desenvolvimento de Produto Sustentável (DPS) tornou-se importante no desempenho organizacional das empresas. O produto desenvolvido pela indústria deve envolver o meio ambiente, a economia e os elementos sociais (Priarone *et al.*, 2023), sem se esquecer dos atingimentos dos critérios operacionais e das empresas (Ahmad *et al.*, 2018). No entanto, muitas organizações ainda consideram apenas a qualidade e custo do produto sem considerar o requisito de produto sustentável (Ahmad *et al.*, 2016).

O desenvolvimento de novos produtos deve levar em consideração os elementos ambientais, econômicos e sociais de um produto sustentável que é necessário para a indústria (Ahmad *et al.*, 2016). Esta produção sustentável de desenvolvimento de novos produtos visa atender a satisfação dos clientes e atender às necessidades das partes interessadas e *stakeholders* (Adda *et al.*, 1997). Ainda, o DPS tem efeito mediador na relação entre as práticas de gestão da qualidade e o desempenho organizacional na indústria automotiva global. Além disso, recentemente muitos estudos afirmaram que o DPS tem alguma influência no desempenho organizacional. No entanto, embora tenha sido demonstrado um desenvolvimento abrangente de novos produtos ao longo do tempo, pouca atenção tem sido dada aos critérios dos efeitos do DPS no desempenho organizacional no setor de autopeças principalmente no Brasil (Silva e Engler, 2021; Vezzoli e Manzini, 2008).

Este trabalho estuda como as empresas podem combinar diferentes métodos de gerenciamento de DPS alinhando também seus objetivos de negócios juntamente a maturidade em gerenciamento de projetos em uma importante economia emergente, como o Brasil, que é o mais importante polo industrial da América Latina (Rubert *et al.*, 2023; Méxas *et al.*, 2012).

Embora o conceito de sustentabilidade possa ser incorporada no gerenciamento de projetos, ainda existe um campo significativo para trabalhos que associem os benefícios diretos do DPS ao desempenho organizacional, gerando vantagens competitivas baseadas em produtos sustentáveis e avaliando-o em termos do atendimento às demandas do mercado e transformando estas informações em insumos diferenciados para que produtos e serviços inovadores possam oferecer benefícios econômicos que retornam às Corporações viáveis (Vezzoli e Manzini,

2008). Isto acaba se tornando um diferencial competitivo, com novos produtos projetados para serem economicamente, socialmente e ambientalmente viáveis (Vezzoli e Manzini, 2008).

Além disso, a consideração da Economia Circular (EC) como um todo nas etapas de DPS traz uma visão mais ampla, já que busca viabilizar um modelo econômico reorganizado através da coordenação dos sistemas de produção e consumo em circuitos fechados, se baseando na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais. É inspirada nos mecanismos dos ecossistemas naturais que fornecem recursos a longo prazo por meio de um processo constante de reciclagem e reabsorção. Ainda, a EC traz harmonia entre as questões técnicas e econômicas, enquadramento social e institucional (Murray *et al.*, 2017).

A EC vai além da preservação ambiental e da sustentabilidade já que em sua essência visa fechar o ciclo de vida de materiais e produtos, fazendo com que o rejeito do processo de manufatura de um produto seja um insumo para outro, até que a última etapa do processo seja sua degradação, como por exemplo, a digestão microbiana, ou ainda, o seu aproveitamento na forma de energia, denominado pelos especialistas como sendo uma utilização do produto desde o “berço ao berço” originada da expressão em inglês “*cradle-to-cradle (C2C)*” (Ghisellini, 2016). O valor dos produtos e materiais é mantido durante o maior tempo possível, a produção de resíduos e a utilização de recursos reduzem-se ao mínimo e, quando os produtos atingem o final da sua vida útil, os recursos mantêm-se dentro da economia do produto a fim de serem reutilizados e voltarem a gerar valor (Rosa *et al.*, 2018).

Os benefícios da EC podem ser considerados com uma grande amplitude, desde auxiliar no combate às alterações climáticas, conservar o capital natural, diminuir as emissões de carbono, promover a eco inovação, reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e minimizar a produção de resíduos. Além disso, no âmbito tecnológico, visa criar novas oportunidades e modelos de negócio, produtos e serviços; aumentar a competitividade, criar novos empregos e produtos mais duradouros (Rosa *et al.*, 2018).

Neste contexto, pode-se afirmar que as correlações entre o DPS e a EC possuem muitos pontos em comum e devem ser intrínsecas ao setor automobilístico devido à grande competitividade do mercado e ao diferencial chamativo aos usuários e clientes finais. O Brasil não fica a parte desta análise por ser um polo automobilístico global de importação e exportação de veículos (Anfavea, 2023).

Para a proposição de um framework de DPS considerando a EC, três grandes modelos de gerenciamento de desenvolvimento de produto foram analisadas sendo que o primeiro modelo utiliza-se de uma base mais linear de desenvolvimento proposto por Rozenfeld *et al.* (2006), posteriormente passando pela análise da gestão de DPS baseado no trabalho de Vezzoli e Manzini (2008) e finalmente na análise do *framework* ReSOLVE para EC proposto pelo Instituto Ellen MacArthur (2015). Com isso, pode-se verificar a evolução das práticas de desenvolvimento de produto no decorrer do tempo. De forma resumida, a seguir tem-se informações preliminares sobre estes três modelos. Na fundamentação teórica será abordado com maior profundidade todos os três modelos que foram utilizados como base para o *framework* DPS considerando a EC.

Iniciando por Rozenfeld *et al.* (2006) a gestão de desenvolvimento de produtos é dividida em três grandes pilares, sendo o primeiro o pilar o Pré-Desenvolvimento que aborda o planejamento estratégico e quais produtos e mercados serão desenvolvidos, juntamente com o escopo do projeto definindo a viabilidade econômica e a capacidade da organização em executar a escolha dos indicadores para o acompanhamento do desenvolvimento. O segundo pilar é de Desenvolvimento iniciando pelo Projeto Informacional voltado às especificações e requisitos, o Projeto Conceitual que abrange as descrições das características e modelagens do produto e o Projeto Detalhado que consiste na definição dos testes do produto e material de suporte. O terceiro e último pilar é o de Pós-Desenvolvimento que consiste em acompanhar o produto e o processo através de avaliações da satisfação do cliente e do desempenho técnico do produto, auditorias de processos e arrolamento das lições aprendidas, documentação das melhorias ocorridas no produto e a definição de quando existe a necessidade da descontinuação através da análise da retirada sistemática do produto (Rozenfeld *et al.*, 2006).

O outro modelo de DPS foi conduzido por Vezzoli e Manzini (2008) onde trazem cinco pilares que compreendem as fases necessárias para a correta execução de um produto, porém com um foco de sustentabilidade mais enraizado, tendo uma preocupação maior por parte dos autores na fase de fim de vida dos produtos. O primeiro pilar é o de Pré-produção onde discute-se a aquisição de recursos, o transporte dos produtos, o material e energia necessários e a etapa de produção. O outro pilar tem o enfoque na Produção onde discute-se a transformação dos materiais, com a recolha pós uso e a possibilidade de re-fabricação e a montagem com a também recolha pós uso e a possibilidade de reutilização de componentes utilizando as práticas de

Design for Disassembly (DfD) e o acabamento. No próximo pilar discute-se a fase de Distribuição como a armazenagem, transporte e embalagem bem como o uso do produto, sendo definido sua finalidade de uso ou serviço, com enfoque na recolha pós uso ou reutilização, abastecendo o Ciclo de Vida de outro Produto. Finalmente, e como último pilar, está a preocupação no descarte e eliminação do produto no fim de vida e como isto impactará ambientalmente e socialmente, já que pode-se destiná-lo simplesmente ao lixo ou por meio de incineração, compostagem ou reciclagem (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Finalizando a categorização dos modelos de DPS pesquisados, tem-se o ReSOLVE que foi proposto pelo Instituto Ellen MacArthur (2015) e que trata-se de uma sigla de abreviação em inglês das expressões REgenerate (regenerar), Share (compartilhar), Optimise (otimizar), Loop (voltar), Virtualise (virtualizar) e Exchange (substituir), sendo que cada uma das seis etapas do *framework* traga uma perspectiva mais alinhada ao conceito de EC que os demais modelos pesquisados. No campo “Regenerar”, tratam-se das ações que mantêm e melhora a bio capacidade do planeta, incluindo a transição de combustíveis fósseis para a energia renovável, a recuperação e restauração de ecossistemas e o retorno de recursos biológicos para a natureza. Já no campo “Compartilhar”, discute-se a economia compartilhada focando em todo o uso dos bens e eliminando o desperdício e a duplicação, passando pelo campo de “Otimizar” que trata de remover o desperdício de energia e materiais na fabricação de bens.

Nos outros dois campos do ReSOLVE, tem-se o “Voltar”, que aborda os materiais orgânicos compostados em uma EC e os materiais inorgânicos ou técnicos reutilizados ou reciclados em bens ou peças, podendo ser remanufaturados, onde os recursos são processados e colocados de volta na cadeia de fornecimento ao invés de serem depositados ou simplesmente despejados em aterros sanitários, e o campo “Virtualizar” que trata da digitalização de produtos e serviços que antes só eram possíveis através de bens tangíveis.

Por fim, no último campo, tem-se o “Substituir” que descreve os processos de troca de novas tecnologias, atualizando ou substituindo formas antigas de fazer as coisas.

Após esta contextualização, fica claro que os modelos acabam sendo complementares e uma proposta de *framework* comum acaba sendo importante. Ainda, apesar da evolução de um modelo para outro, nenhum deles abrange de forma concisa as questões econômicas, ambientais e sociais para o DPS nas empresas. Finalmente, um *check-list* para implantação do *framework* DPS considerando a EC no estudo de caso foi sugerido e empregado.

1.2 PROBLEMA E PERGUNTA DE PESQUISA

Dentre todos os 128 artigos levantados durante a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), 20 trabalhos possuíam maior sinergia às práticas de DPS. Exemplificando, Boorsma et al. (2022) na Holanda, através também de uma RSL, apresentou um estudo que forneceu o primeiro método de indicador, a fim de avaliar o design de produtos circulares em vários aspectos como níveis de prontidão, pontos fortes das empresas e as oportunidades de melhoria. Já Suresh et al. (2016) na Índia realizou um estudo de caso a fim de garantir o DPS através da integração do *DfE* e do *Design for Manufacture and Assembly* (DFMA). Outro estudo de caso realizado na Malásia introduziu um modelo de tomada de decisão para avaliar e selecionar o reforço natural não tecido mais adequado com compósitos à base de fibra / polipropileno para peças de interiores e utilização na indústria automotiva (Al-Oqla et al., 2016). Já Eddy et al. (2015) nos Estados Unidos da América (EUA), através de um Estudo de Caso, abordou os desafios das seleções de materiais no design de produtos sustentáveis.

Andriankaja et al. (2015) na França propôs uma abordagem holística ao ecodesign voltada para a operação, dentro de um sistema de Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto ou PLM (*Product Lifecycle Management*) através de uma modelagem TRIZ (*Theory of Inventive Problem Solving*). Na China, um estudo de caso conduzido por Tian e Chen (2014), desenvolveram um trabalho de abordagem na concepção de desmontagem como sendo uma solução eficaz para as dificuldades existentes nos veículos em fim de vida ou ELVs (*end-of-life vehicles*), fornecendo diretrizes no projeto de produtos automotivos que possuam dificuldades de manuseio de polímeros para os painéis veiculares.

Outro estudo de caso na Índia conduzido por Vinodh et al. (2014) propôs um modelo que integra o Desdobramento da Função Qualidade Ambientalmente Consciente ou a ECQFD (*Environmentally Conscious Quality Function Deployment*) com a TRIZ e com um Processo Hierárquico Analítico ou a AHP (*Analytical Hierarchy Process*) para promover soluções inovadoras e sustentáveis para o desenvolvimento de produtos em componentes automotivos. Outro estudo de caso nos EUA apresentou uma abordagem holística e sistêmica a fim de prever impactos por meio de um Planejamento e Simulação de Fabricação Sustentável ou SMPS (*Sustainable Manufacturing Planning and Simulation*) e é apresentado como sendo um esforço para incorporar os aspectos de sustentabilidade ao longo do ciclo de vida do produto. Com o

SMPS, pode-se aprimorar o que se tinha anteriormente e que tinha sido desenvolvido pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia denominado de Integração de Sistemas para Aplicações de Manufatura ou SIMA (*Systems Integration for Manufacturing Applications*) (Mani *et al.*, 2013).

Bracke *et al.* (2013) na Alemanha propôs uma modelagem descrevendo o Desenvolvimento Colaborativo de Fabricação e Verificação de Campo ou o CDMF-RELSUS (*Collaborative Development, Manufacturing and Field Verification*) para maior confiabilidade do produto em direção à sustentabilidade, com foco nas influências e interdependências no desenvolvimento de produtos, planejamento de fabricação e observação de campo em relação ao desenvolvimento, incluindo a combinação de recursos confiáveis e características sustentáveis do produto.

Já Priarone *et al.* (2023) através de estudo de caso conduzido na Itália, investigou o caso de redução de peso de um componente automotivo para quantificar os resultados da integração sistemática de redesenho e substituição de materiais. Com o mesmo método, Singh e Sarkar (2020) na Índia demonstraram que as Práticas de *Ecodesign* (PE) na produção de produtos ecológicos ainda não são claramente compreendidas pelas indústrias, especialmente em economias em desenvolvimento como a Índia, propondo assim uma estrutura híbrida baseada no método *Delphi Fuzzy* e, com o Laboratório de Avaliação e Ensaio de Tomada de Decisão ou DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*), identificou várias PEs e analisar a causa e efeito dos relacionamentos entre estas PEs a fim de obter práticas mais significativas para o DPS.

Outro estudo de caso realizado em Portugal ilustrou que as perspectivas ambientais e econômicas, e não apenas tecnológicas, devem ser consideradas no DPS, demonstrando a possibilidade de minimizar os impactos ambientais e o custo de um produto através de considerações de seleção de materiais adequados e de design ainda na fase de desenvolvimento (Simões *et al.*, 2016).

Held *et al.* (2018) na Alemanha conduziu uma Survey demonstrando através dos resultados que a compreensão da sustentabilidade pelas empresas foi crucial para o sucesso da implementação da sustentabilidade no Processo de Desenvolvimento do Produto ou o PDP (*Product Development Process*). Além disso, a sustentabilidade deve ser estruturalmente incorporada nas empresas através de uma responsabilidade central e ampla, com a integração

de todos os funcionários da empresa e com os métodos de sustentabilidade padronizados e considerados, tanto a nível académico como na perspectiva industrial; sendo que os principais impulsionadores do Desenvolvimento Sustentável ou SD (*Sustainable Development*) são as leis e políticas governamentais, os clientes e a concorrência, principalmente no que tange ao comparativo de custos. Segundo o estudo, o grande fator de sucesso para o processo de implementação da sustentabilidade no SD é o compromisso da empresa através de uma estratégia corporativa mudando para a geração de soluções do Tanque à Roda para uma análise mais holística da Roda à Roda, bem como pelo fortalecimento da consciência para a sustentabilidade por parte de clientes e fabricantes. Aschehoug *et al.*, (2013) conduziu um estudo de caso na Noruega com os resultados em dois fornecedores noruegueses de móveis e dois fornecedores também noruegueses de autopeças para a indústria automotiva, identificando as categorias de informações de sustentabilidade que as empresas consideram ser as mais importantes e relevantes para o desenvolvimento de produtos.

Mayyas *et al.*, (2012) nos EUA, através de um estudo de caso, propôs um conjunto de métricas para seleção de materiais que levava em consideração todos os aspectos de sustentabilidade, incluindo produtos com impacto ambiental, funcionalidade e capacidade de fabricação, além dos fatores econômicos e sociais como a pegada de carbono. Com o mesmo método, Schögl *et al.* (2017) na Áustria desenvolveu uma nova Lista de Verificação para o Desenvolvimento Sustentável de Produtos ou o CSPD (*Checklist for Sustainable Product Development*) que permite a avaliação qualitativa dos aspectos ambientais, econômicos e sociais durante as fases iniciais do desenvolvimento do produto, considerando ao mesmo tempo uma perspectiva de ciclo de vida completo e fornecendo uma base metodológica para um processo iterativo, no qual são definidas tarefas de melhoria relacionadas à sustentabilidade que devem ser concluídas pelos engenheiros.

Finalmente, os dois últimos trabalhos em sinergia com as práticas de desenvolvimento de produto sustentável foram conduzidos por Rodrigues *et al.* (2018) que, através de uma RSL aliada à uma abordagem de teoria fundamentada com o objetivo de desenvolver a estrutura de um caso de negócio no Brasil, oferecendo uma perspectiva sobre como a implementação do *ecodesign* pode potencialmente afetar os principais resultados de desempenho das empresas, contribuindo para a literatura de *ecodesign* e estabelecer um modelo que está prontamente disponível para ser adaptado e personalizado para testes adicionais e uso na prática.

Já o trabalho de Pigozzo *et al.* (2013) também no Brasil apresentou um modelo de maturidade de *ecodesign*, e uma estrutura que visa apoiar a implementação do processo de *ecodesign* com base em um diagnóstico do perfil de maturidade atual do desenvolvimento de produtos de uma determinada empresa e dos processos relacionados à implementação do *ecodesign*, fazendo com que o modelo propusesse as práticas e projetos de melhoria em *ecodesign* à serem aplicadas, adotando uma abordagem de melhoria contínua para as melhorias de processos com o intuito de apoiar os gestores de *ecodesign* na implementação de roteiros estratégicos e táticos para tal implementação.

Isto posto, não foram identificados trabalhos que tenham avaliado os ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do DPS considerando a EC, impulsionando a seguinte pergunta de pesquisa: (Q1) Como avaliar os ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do Desenvolvimento de Produto Sustentável considerando a Economia Circular?

1.3 OBJETIVO GERAL

Objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar os ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do Desenvolvimento de Produto Sustentável considerando a Economia Circular em empresas de autopeças localizadas no Brasil.

1.3.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- Identificar as práticas para o Desenvolvimento de Produto Sustentável por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura.
- Propor um *framework* para o DPS considerando à Economia Circular bem como uma proposta de *Check-list* para implantação do *framework* nos estudos de casos apresentados.
- Apresentar estudo de caso em uma empresa automotiva localizada no Brasil que tenha adotado o desenvolvimento de produto sustentável considerando a Economia Circular.

1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A justificativa e relevância deste trabalho estão ligadas ao emprego dos conceitos e práticas de DPS baseada no conceito de EC.

Diante do contexto apresentado, este trabalho traz uma contribuição teórica para o preenchimento da lacuna de pesquisa pois visa inserir as variáveis econômicas, ambientais e sociais no contexto das práticas de desenvolvimento sustentável. Para a prática, pretende-se apresentar um *framework* único até o momento considerando que as empresas do setor de autopeças no Brasil deverão se preparar com a utilização destes novos conceitos de sustentabilidade visando a competitividade e sobrevivência das empresas. Ainda, existem outras questões que impulsionam e aceleram essa mudança da forma de pensar em termos da responsabilidade social, em que o pensamento “verde” tem como foco o futuro para o meio ambiente, por meio da redução da exploração e uso de combustíveis fósseis, de mudança na matriz energética para redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e de componentes particulados na atmosfera e sem o descarte inconsequente de resíduos na natureza.

Ainda como contribuição teórica, trouxe através da Revisão Sistemática de Literatura uma base de artigos onde conseguiu-se identificar 23 práticas de Desenvolvimento de Produto Sustentável que permearam este trabalho para encontrar os resultados, a discussão e a conclusão. Estas práticas de DPS foram testadas em um Estudo de Caso único não encontrada em nenhuma literatura sobre o tema demonstrando assim a originalidade e relevância teórica.

Já para a prática, o Estudo de Caso também demonstrou originalidade única pois demonstrou através de um caso real as aplicações das práticas de DPS no ambiente industrial fazendo com que este trabalho sirva como um guia para que outras empresas atuem da mesma forma. A empregabilidade do framework de DPS considerando a EC aliada a aplicação nos conceitos de desenvolvimento da empresa demonstrou também a relevância do trabalho no campo prático.

Este trabalho delimitou-se a empresas do setor automotivo localizadas no Brasil já que muitas destas empresas são globais e já possuem certo grau de tecnologia e entendimento às questões econômicas, ambientais e sociais, e que podem ser replicado de uma forma não inédita internamente na Corporação porém, por serem localizadas no Brasil, estão suscetíveis às questões legais locais que variam de planta para planta ou de localidade para localidade.

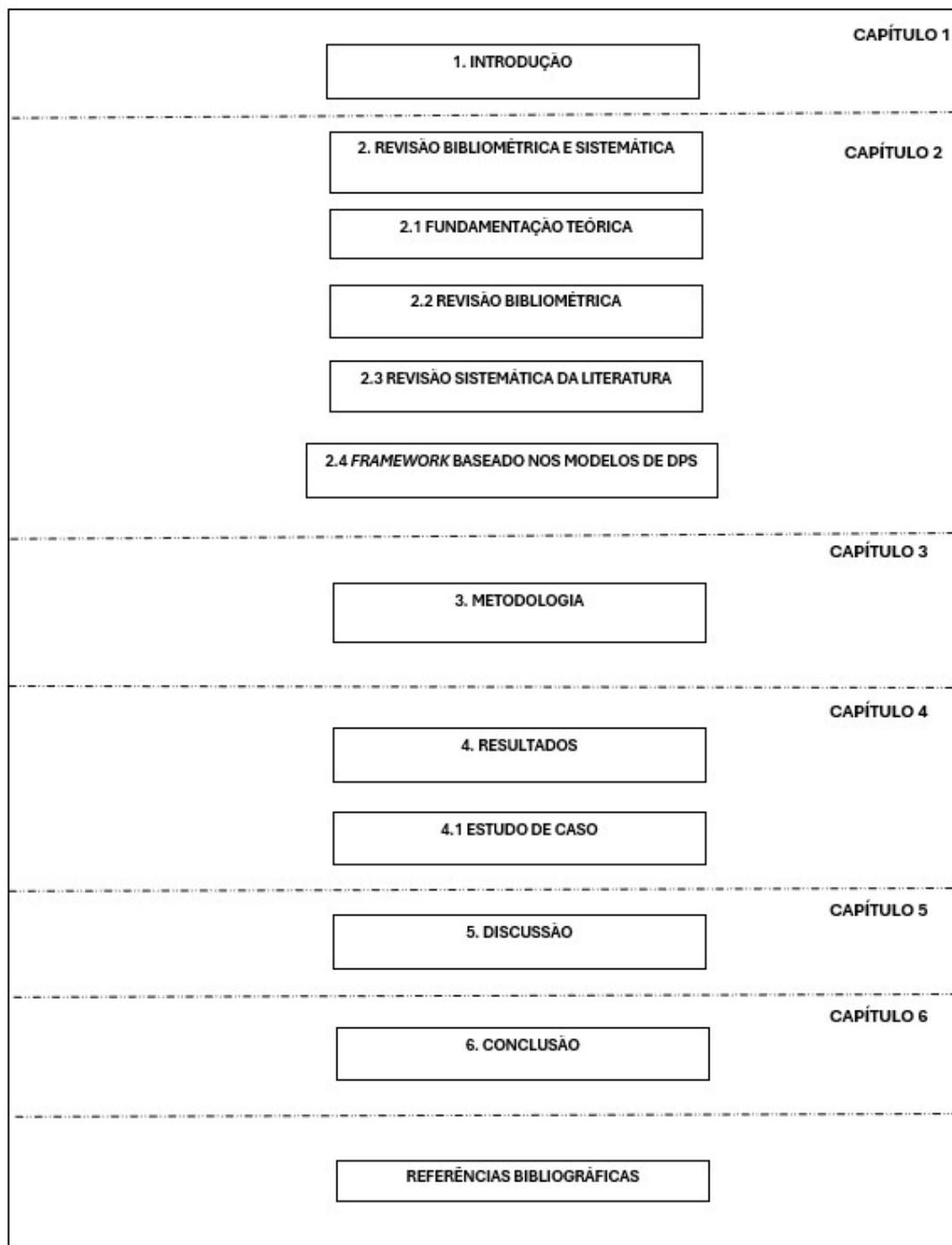
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho segue uma estrutura com cinco capítulos iniciando-se pela Introdução onde apresenta-se o contexto no qual o trabalho foi concebido, a justificativa, a questão a ser respondida e os objetivos do trabalho. No capítulo 2 aborda-se a RSL e referencial teórico buscando embasamento bibliográfico que permita entender os assuntos abordados pela pesquisa de maneira ampla, conhecendo os limites e características da literatura já publicada, apresentando conceitos, definições e lacunas de pesquisa.

Já no terceiro capítulo discute-se o procedimento metodológico descrevendo a classificação do presente trabalho quanto à sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos. Além disso, são apresentadas as etapas de atividades para que os objetivos do trabalho sejam atingidos. No capítulo 4 abrange-se e apresenta-se o estudo de Caso e o levantamento dos resultados obtidos. O quinto capítulo é apresentado com os resultados e discussão do que foi encontrado no estudo de caso com a implementação da proposição realizada por este trabalho e finalmente finalizando com o sexto e último capítulo que é a conclusão após a discussão dos resultados obtidos em relação aos objetivos e problema da pesquisa, bem como análise do método utilizado e propostas para possíveis trabalhos futuros e suas limitações.

Na sequência, na figura 1, apresenta-se a estrutura do trabalho descrito acima em forma de fluxograma para um melhor entendimento das etapas.

Figura 1 – Fluxograma da estrutura do trabalho



CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Peneda e Frazão (1995), todos os produtos afetam o ambiente em maior ou menor grau nas diversas fases de seu ciclo de vida, o que se traduz em poluição do ar, água e solo, ou através de emissões e resíduos com efeitos a saúde humana.

Na virada do século XIX para o século XX, algumas ideias já haviam sido lançadas, ligadas a movimentos de preservação ambiental que já apareciam durante aquele período. Isto fez com que novas ideias e estratégias fossem discutidas e lançadas visando a diminuição dos impactos ao ambiente e a sociedade (Lacy e Rutqvist, 2016). Uma das estratégias lançada neste período foi a da Economia Circular (EC).

A Economia Circular (EC) é uma estratégia que busca viabilizar um modelo econômico reorganizado através da coordenação dos sistemas de produção e consumo em circuitos fechados e se baseou inicialmente na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais. Foi inspirada nos mecanismos dos ecossistemas naturais que fornecem recursos a longo prazo por meio de um processo constante de reciclagem e reabsorção, trazendo harmonia entre as questões técnicas e econômicas, enquadramento social e institucional (Murray, 2017).

O histórico da produção sustentável evoluiu, saindo apenas do tratamento da poluição com as soluções após o fim do tubo, passando para a adoção de tecnologias limpas e pelo *re-design* ambiental dos produtos até abordagens recentes ligadas à desmaterialização da posse (Kazmierczyk, 2002; Johansson, 2002; Diehl; Brezet, 2004; Manzini; Vezzoli, 2005). Para tanto, os produtos sustentáveis devem ser evoluídos desde o design nas primeiras etapas do desenvolvimento.

Produtos sustentáveis podem ser definidos como soluções que atendem às necessidades e demandas sociais, minimizando impactos negativos e maximizando impactos positivos nas dimensões ambiental, econômica e social ao longo de seu ciclo de vida (Weenen, 1995; Lutropp; Karlson, 2001; Diehl; Brezet, 2004).

Entende-se por Desenvolvimento de Produto Sustentável (DPS), segundo a *World Commission Environment and Development* (WCED), como sendo o desenvolvimento de um

produto que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações, atendendo suas necessidades.

Outros termos relacionados ao DPS são o *DfE* e *Ecodesign* e seus conceitos são complementares.

O conceito de *DfE* é a consideração sistemática do desempenho do projeto em relação aos objetivos ambientais, de saúde e de segurança durante todo o ciclo de vida do produto e do processo (Fiksel, 1996). Já o *Ecodesign* é uma forma ecológica de desenvolvimento de produtos que pode-se traduzir em projeto para o meio ambiente e vem se tornando uma aliada à inovação tecnológica de responsabilidade ambiental e segue sendo considerada vital para a garantia do desenvolvimento sustentável e para a redução do impacto ambiental de novos produtos (Turra, 2002). Ainda, o *Ecodesign* é uma visão holística em que influi-se na concepção, escolha de materiais, fabricação, uso, reuso, reciclagem e disposição final dos produtos industriais, a partir do momento que conhece-se os problemas ambientais e suas causas (Santos, 2001).

O *Ecodesign* tende a minimizar o impacto ambiental, reduzir custos de produção e possibilitar as empresas um diferencial competitivo dentro de um mercado que a cada dia dá maior ênfase ao desenvolvimento sustentável, assumindo papel importante no contexto mundial, visto que a capacidade de extração de matérias-primas da natureza vem se esgotando em ritmo acelerado (Kindlein Junior, 2002).

O esforço para evitar a poluição por meio do controle e melhoria dos processos originou a criação de uma série de diretrizes para a redução dos impactos ambientais nas fases de projeto, produção e utilização do produto, a exemplo do *design* para o meio ambiente (Fiksel, 1993), do Manual de *Ecodesign* do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (Brezet, 2004; Hemel, 1997) e do conjunto de normas ISO 14000, estas últimas focadas na gestão ambiental das empresas (*International Organization for Standardization* - ISO, 2009).

Nas últimas décadas, a preocupação ambiental foi ampliada para a perspectiva do ciclo de vida do produto, incluindo também as fases de extração e transformação da matéria-prima e de consumo e reutilização dos produtos. Essa abordagem holística de sustentabilidade ambiental encontra-se presente no método ZERI (*Zero Emissions Research & Initiative*) (Pauli, 1998), na certificação *Cradle to Cradle* (McDonough; Braungart, 2002) e nos conceitos de ecologia industrial (Frosch; Gallopolous, 1989) e de logística reversa (Tibben-Lembke, 2002).

Além das diretrizes citadas, alguns modelos de desenvolvimento foram lançados, servindo como guias aos designers de desenvolvimento. Dentre os modelos, este trabalho baseia-se em três grandes modelos.

Como abordado de forma sucinta no capítulo de contextualização, existe a necessidade de um maior aprofundamento destes três modelos de desenvolvimento a fim de entender os tópicos de cada etapa do processo e que serão replicados na nova preposição do *framework* sugerido.

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006), a gestão de desenvolvimento de produtos é dividida em três grandes pilares sendo eles o Pré-Desenvolvimento, o Desenvolvimento e o Pós. No primeiro pilar de Pré-Desenvolvimento aborda-se o planejamento estratégico como quais produtos serão desenvolvidos, quais não serão e quais mercados serão focados. Esta análise geralmente é direcionado e conduzida pelo time de *Marketing* das empresas. Nesta fase o escopo do projeto é definido, tendo como foco a viabilidade econômica, a capacidade da organização em executar o desenvolvimento de tal produto e a escolha dos indicadores necessários para o acompanhamento do desenvolvimento.

Já no segundo pilar de Desenvolvimento, fica nítido o enfoque e foco do trabalho de Rozenfeld *et al.* (2006) nesta etapa já que é justamente onde os alicerces do desenvolvimento de produto estão mais presentes. Inicia-se pelo Projeto Informacional que é o arrolamento das informações necessárias sobre o projeto. É neste ponto que as especificações e requisitos são definidos. Após este processo, inicia-se a etapa do Projeto Conceitual que abrange as descrições (modelagens) das funções que o produto precisa, as propostas para as soluções possíveis, o arranjo esquemático do produto e a forma geométrica e estética do produto. Prosseguindo com o pilar de Desenvolvimento, vem o Projeto Detalhado que consiste na definição dos testes necessários ao produto, a criação de material de suporte, o projeto de embalagem do produto, os processos de fabricação e por fim a documentação e a homologação do produto.

É ainda no pilar de Desenvolvimento que alguns ciclos importantes são definidos, como o ciclo de detalhamento que consiste em criar e detalhar os sistemas e seus componentes, o ciclo de aquisição que abrange o desenvolvimento de fornecedores e o ciclo de otimização que avalia os sistemas e componentes e que configura e documenta os processos e produto.

Após todos estes processos serem bem definidos é que inicia-se a preparação para produção, onde os recursos são mobilizados, os manuais do produto são desenvolvidos, as

instruções para assistência técnica e informações para os vendedores são escritos e onde existe o treinamento do pessoal, os dispositivos de fabricação e a produção de um lote piloto ou pré-série. Somente após todas estas etapas que pode-se seguir para o processo de lançamento do produto propriamente dito, passando pela documentação das melhores práticas, a definição da estrutura das atividades de comercialização, vendas, arranjo logístico de distribuição do produto, atendimento e pós-atendimento ao cliente, assistência técnica e lançamento do produto.

No terceiro e último pilar da gestão de desenvolvimento de produto segundo Rozenfeld *et al.* (2006), está o Pós que consiste em acompanhar o produto e o processo através de avaliações da satisfação do cliente e do desempenho técnico do produto, de auditorias de processos e arrolamento das lições aprendidas, documentação das melhorias ocorridas no produto e a definição de quando existe a necessidade da descontinuação do produto através da análise da retirada sistemática do produto.

O outro modelo de DPS foi conduzido por Vezzoli e Manzini (2008) onde trazem cinco pilares que compreendem as fases necessárias para a correta execução de um produto, porém com um foco de sustentabilidade muito mais enraizado tendo uma preocupação maior por parte dos autores na fase de fim de vida dos produtos.

O primeiro pilar é a Pré-produção onde, assim como Rozenfeld *et al.* (2006), discute-se a aquisição de recursos, o transporte dos produtos, o material e energia necessários e a etapa de produção.

No segundo pilar, o enfoque é a Produção, passando pela transformação dos materiais com a recolha pós uso e a possibilidade de Re-fabricação, e a montagem com a também recolha pós uso e a possibilidade de reutilização de componentes utilizando as práticas de *Design for Disassembly (DfD)* e o acabamento. No terceiro pilar discute-se a fase de Distribuição como armazenagem, transporte e embalagem. Vários enfoques em embalagem são propostos pelos autores desde materiais a serem utilizados, necessidade de reutilização, redução de materiais entre outros.

No quarto e penúltimo pilar está o Uso do produto, onde define-se a finalidade de uso ou serviço, com enfoque na recolha pós uso ou reutilização de materiais abastecendo o ciclo de vida de outro produto. Por fim, no quinto e último pilar, está a preocupação no Descarte e Eliminação do produto no fim de vida e como isto impactará ambientalmente e socialmente o

mundo e as comunidades, já que pode-se destiná-lo simplesmente ao lixo ou por meio de Incineração, Compostagem ou Reciclagem.

Finalmente, o terceiro e último modelo de DPS analisado foi proposto pelo Instituto Ellen MacArthur (2015) denominada de ReSOLVE que trata-se de uma sigla de abreviação em inglês das expressões REgenarate (regenerar), Share (compartilhar), Optimise (otimizar), Loop (voltar), Virtualise (virtualizar) e Exchange (substituir). Cada uma das seis etapas do *framework* traz uma perspectiva mais alinhada ao conceito de EC que os demais modelos pesquisados.

Na primeira etapa que consiste em Regenerar, trata-se de um amplo conjunto de ações que mantém e melhora a bio capacidade do planeta, incluindo a transição de combustíveis fósseis para a energia renovável, a recuperação de terras e a restauração ou proteção de ecossistemas e o retorno de recursos biológicos para a natureza, como a compostagem, por exemplo. Já na etapa de Compartilhar, discute-se a economia compartilhada como um conceito que se sobrepõem à EC, focando em todo o uso dos bens e eliminando o desperdício e a duplicação. Como exemplo, os modelos de negócios de compartilhamento de carro, o aluguel de ferramentas ou bibliotecas ajudam a obter mais valor dos produtos, compartilhando-os. O mercado de recondicionamento e reparo também são agrupados nesta etapa pois reduzem o descarte de componentes no fim de vida útil do produto gerando assim um retorno à cadeia econômica, garantindo que só serão enviados de volta para reciclagem ou reprocessamento quando realmente não tiverem mais utilidade para aquele determinado produto.

Na terceira etapa de Otimizar, trata-se de remover o desperdício de energia e materiais na fabricação de bens e também no uso dos produtos, o que implica na utilização de tecnologia para maximizar o uso de recursos. Como exemplo, o uso de fertilizantes está desestabilizando o ciclo do nitrogênio, já que grande parte do fertilizante espalhado nas culturas é lavado ou entra no solo e nunca acaba sendo utilizado pela planta. As técnicas de agricultura de precisão podem fornecer quantidades exatas de fertilizante diretamente às raízes apenas no ponto em que as plantas a buscam, garantindo que o mínimo possível seja desperdiçado. Na quarta etapa denominada de Voltar, os materiais orgânicos são compostados em uma EC e os materiais inorgânicos ou técnicos são reutilizados. Eles podem ser reciclados em bens ou peças podendo ser remanufaturados. De qualquer forma, os recursos são processados e colocados de volta na cadeia econômica ao invés de serem depositados simplesmente em aterros sanitários.

Na quinta e penúltima etapa, o Virtualizar, trata-se da digitalização de produtos e serviços que antes só era possível através de bens tangíveis. Como exemplo temos o *e-reader*, *Netflix* e os aplicativos de celular que eliminaram livros físicos, *DVDs*, despertadores, mapas, jornais, entre outros. Por fim, na sexta e última etapa têm-se o Substituir, que descreve os processos de troca de novas tecnologias, atualizando ou substituindo formas antigas de fazer as coisas. Exemplificando, os motores elétricos estão substituindo os motores de combustão interna podendo assim trocar as formas de se fazer as coisas.

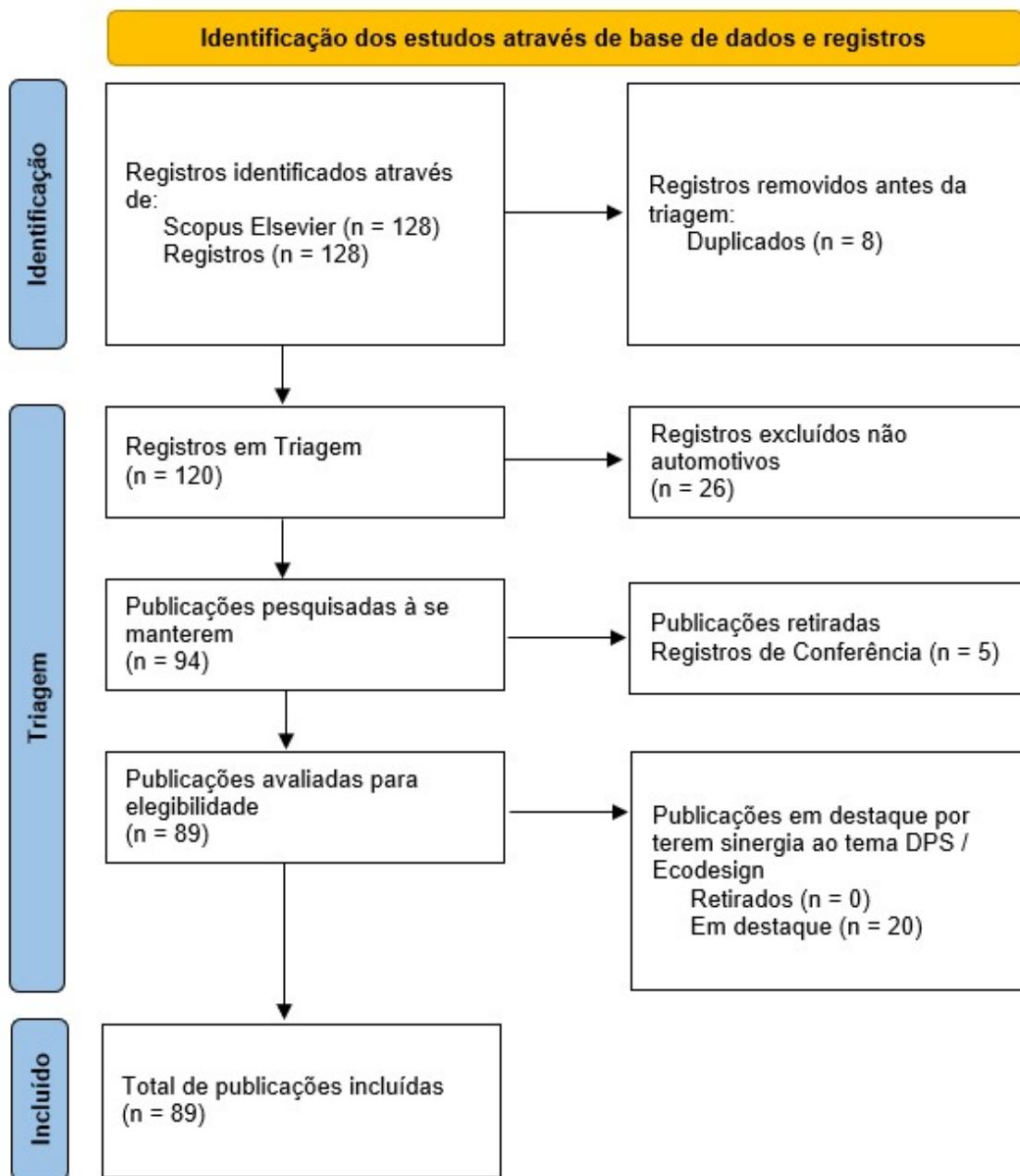
Após esta fundamentação, fica evidente que os modelos são complementares e uma proposta de *framework* DPS considerando a EC acaba sendo importante. Ainda, apesar da evolução de um modelo para outro, nenhum deles abrange de forma concisa as questões econômicas, ambientais e sociais para o DPS nas empresas. Ainda, foi construído um *check-list* para aplicação prática nos estudos de caso realizados onde pode-se facilitar a utilização do *framework* DPS considerando a EC.

2.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Os artigos publicados foram pesquisados nas bases de dados *Scopus* adotando os conjuntos de palavras-chave: 1) “*Sustainable Product Development*” AND “*Automotive*”, 2) “*Sustainable Design*” AND “*Automotive*” AND “*Product*” e 3) “*DfE*” / “*Ecodesign*” AND “*Automotive*” AND “*Product*” visando analisar o que já foi pesquisado referente à DPS para o setor automotivo. Esta primeira pesquisa retornou 128 trabalhos. Desconsiderando 8 trabalhos em duplicidade que apareceram nas pesquisas de palavras-chave bem como 26 trabalhos não relacionados ao setor automotivo e mais 5 artigos de conferências, a base inicial de análise da RSL selecionou 89 trabalhos. Destes 89 estudos, apenas 4 citaram EC como sendo uma base estratégica da sustentabilidade. Isto posto, a base dos dados retornou com as 89 publicações que foram distribuídas nos gráficos, analisando os métodos empregados, os anos das publicações e os Países onde os trabalhos foram gerados.

Na sequência pode-se verificar na figura 2 o método Prisma (Page *et al.*, 2021) onde foi aplicada a metodologia da RSL.

Figura 2 – Prisma referente a Revisão Sistemática de Literatura



Fonte: Page *et al.* (2021)

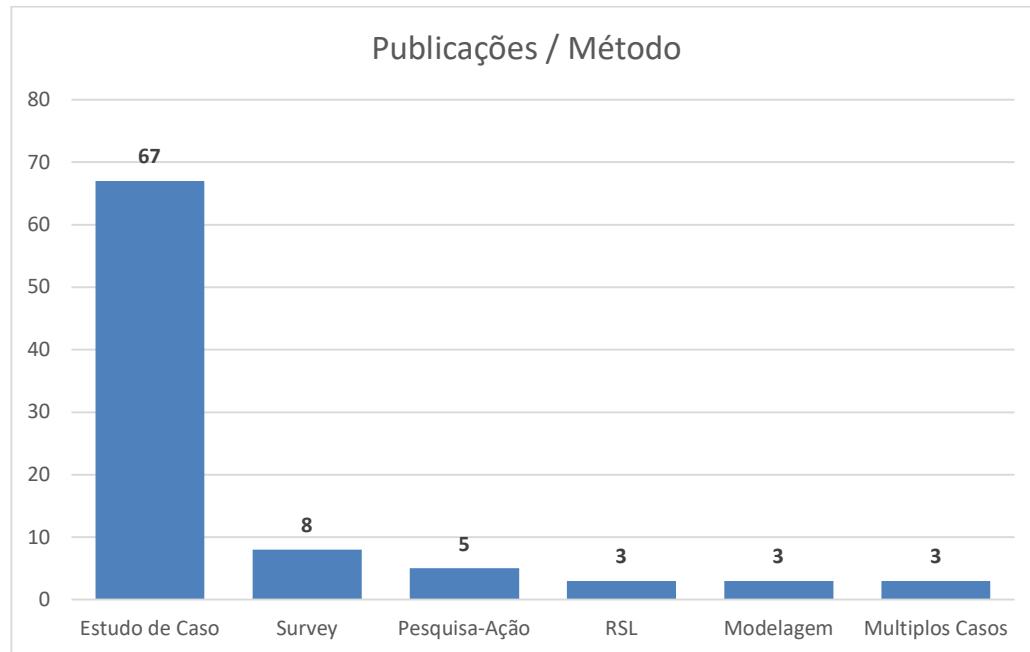
2.2.1 Métodos utilizados nas publicações

Quando fala-se no método de pesquisa utilizado para tratar do DPS, nota-se uma grande predominância da utilização de Estudos de Caso para demonstração dos resultados. Isto faz sentido já que a maioria dos resultados publicados são relacionados a algum produto ou novo desenvolvimento e a atribuição de características de *DfE* e *Ecodesign* foram aplicadas na prática como pode-se verificar no gráfico da figura 3.

Outros dois métodos que se destacaram porém com um número muito menor de publicações foram as *Surveys* e a Pesquisa-Ação com 8 e 5 publicações que utilizaram estes métodos respectivamente. Os métodos de pesquisa como RSL, Modelagem e Múltiplos Casos também foram utilizados para tratar de desenvolvimento de produtos sustentáveis.

Vê-se ainda que este trabalho trará uma base de conhecimento adicional para o modelo de pesquisa como a maioria das pesquisas já alinhadas ao tema dentro de um campo total de 89 trabalhos.

Figura 3 – Gráfico da Revisão Bibliométrica – Publicações por Método de Pesquisa

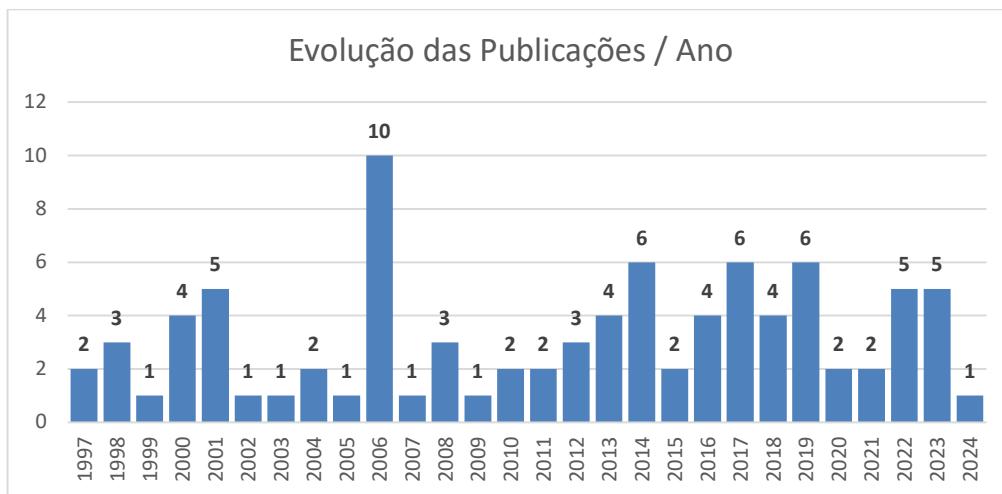


2.2.2 Métodos utilizados nas publicações

No gráfico apresentado pela figura 4 é demonstrada a evolução das publicações ano a ano, referente aos 89 trabalhos restantes selecionados. Nota-se que antes da virada do século, iniciou-se a abordagem de práticas relacionadas à sustentabilidade em produto sendo as primeiras citações datadas do ano de 1997.

Nota-se também um ano com pico específico no número de pesquisas relacionadas ao tema. Aliás, o ano de 2006 foi atípico e fora de padrão pois apresentou o maior número de pesquisas relacionadas ao DPS com 10 trabalhos. Isto ocorreu já que em meados dos anos 2000 as empresas globais iniciaram o enfoque em EHS (*Environmental, Health and Safety*) em suas matrizes na Europa e EUA, cascanteando posteriormente para as demais filiais em outras regiões, fazendo com que este tópico tenha afetado os números de trabalhos acadêmicos. Nos últimos 10 anos, à partir do ano de 2013, apresentou-se uma consistência maior em relação ao número de pesquisas entre 4 à 6 anuais, com exceção dos anos de 2015, 2020 e 2021 com apenas 2 pesquisas relacionadas ao tema em cada ano sobre DPS. Não considerou-se o ano corrente de 2024 já que o número de publicações ainda está em aberto. Isto demonstra que o assunto abordado neste trabalho possui um bom número de trabalhos que se retroalimentam anualmente abordando novos produtos e conceitos.

Figura 4 – Gráfico da Revisão Bibliométrica – Publicações por Ano das Pesquisas



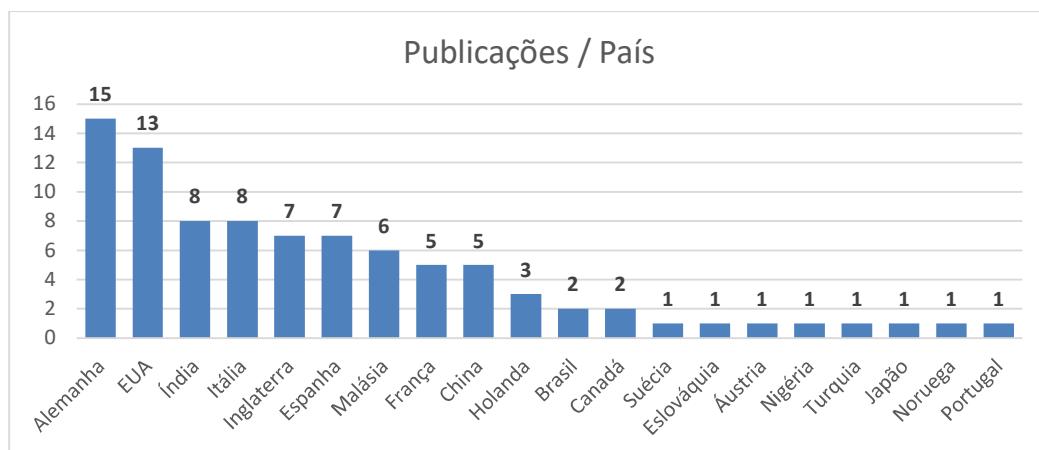
2.2.3 Publicações por Países

Existem dois Países que estão na vanguarda quando trata-se de DPS: Alemanha e Estados Unidos. Isto deve-se muito aos investimentos de pesquisa em novas tecnologia que estes Países possuem, além de possuírem Instituições Acadêmicas capazes de agregarem profissionais específicos de outros Países que auxiliam os estudos direcionados ao tema. Aliás a Europa aparece como sendo o Continente com o maior número de Países que efetuaram pesquisas relacionadas ao tema. Dos 20 Países que apresentaram pesquisas relacionadas ao DPS, 12 Países pertencem ao Continente Europeu conforme pode ser verificado na figura 5.

Entre os 10 principais Países em número de pesquisas, vale ressaltar Índia, Malásia e China como sendo locais que vêm evoluindo ano após ano e pertencem ao bloco Asiático onde, apesar de todos os investimentos de empresas globais nestes Países, ainda necessitam de avanços no campo da sustentabilidade.

O Brasil aparece na décima primeira posição com apenas 2 pesquisas relacionadas ao tema o que pode ser considerado como um parâmetro de desenvolvimento não tão bom, apesar de ainda possuir poucas empresas locais voltadas ao atendimento direto ao setor automotivo. Neste ponto, as empresas globais são a maioria já que atendem as empresas montadoras de veículos em seus Países de origem. Vale ressaltar que o Brasil não possui nenhuma montadora genuinamente brasileira em seu território.

Figura 5 – Gráfico da Revisão Bibliométrica – Publicações por País



2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Nesta seção apresenta-se a RSL analisando as produções científicas relacionadas ao DPS e de forma sistemática com o objetivo de verificar as lacunas de pesquisa e a análise de conteúdo teórico. Os artigos publicados foram investigados nas bases de dados *Scopus* adotando os conjuntos de palavras-chave: 1) “*Sustainable Product Development*” AND “*Automotive*”, 2) “*Sustainable Design*” AND “*Automotive*” AND “*Product*” e 3) “*DfE*” / “*Ecodesign*” AND “*Automotive*” AND “*Product*” visando analisar o que já foi pesquisado referente à DPS para o setor Automotivo no Brasil. Como adiantado, esta primeira pesquisa retornou 128 artigos que, após a triagem, a base de análise da RSL foi de 89 trabalhos. Destes 89 estudos, apenas 4 citaram EC como sendo uma base estratégica da Sustentabilidade.

Com base nesses artigos, foram identificadas 23 variáveis de práticas de DPS, dentro de tópicos relacionadas ao desempenho ambiental, econômico e social, que compuseram a base deste estudo.

2.3.1 – Práticas de DPS considerando a EC

Dentre as 23 práticas identificadas nos trabalhos que citaram a maturidade no *Ecodesign* e *design* sustentável voltadas ao produto e ao setor automotivo, a análise das etapas do produto para *Ecodesign* é a prática mais citada dentre os artigos pesquisados como sendo as relacionadas a gestão integradas ao *Ecodesign* como sendo o melhor método de avaliação (Scur *et al.*, 2019; Schöggel *et al.*, 2017; Tian e Chen, 2014; Vinodh *et al.*, 2014), desde a simplificação e detalhamento (Zhu *et al.*, 2023; Chen, 2018; Andriankaja *et al.*, 2015) dos processos e produtos e a utilização na estratégia de negócios das empresas (Romero *et al.*, 2022; Gargia *et al.*, 2012).

Outros trabalhos apontaram a análise das etapas do produto como sendo primordial para a avaliação de materiais (Subharaj *et al.*, 2019; Villanueva-Rey *et al.*, 2018; Al-Oqla *et al.*, 2016; Eddy *et al.*, 2015) utilizando modelos de simulação e *softwares* (Zhang *et al.*, 2020; Andriankaja *et al.*, 2015; Mani *et al.*, 2013; Ciacci *et al.*, 2010) ou sistemas Ciber-físicos (Wehner *et al.*, 2019). Nesta prática, todos os grupos de práticas apareceram com certo destaque, tanto ambiental quanto econômico e social. Para as práticas ambientais, citam-se com

maior frequência a redução no consumo de energia focando maior eficiência energética na fabricação (Subharaj *et al.*, 2019; Villanueva-Rey *et al.*, 2018; Al-Oqla *et al.*, 2016; Eddy *et al.*, 2015; Tian e Chen, 2014; Mani *et al.*, 2013) e minimização da emissão de gases de efeito estufa (GEE) durante o processo de *design* (Al-Oqla *et al.*, 2016; Andriankaja *et al.*, 2015; Fleischer e Schmidt, 1997), manufatura (Romero *et al.*, 2022) e fase de uso do produto (Anand *et al.*, 2014; Yamato, 1998). Já como práticas de *DfE* no campo econômico, destaque para a redução do consumo de materiais (Schögl *et al.*, 2017) diminuindo o peso (Subharaj *et al.*, 2019) e a quantidade (Chen, 2018; Villanueva-Rey *et al.*, 2018) e consequentemente reduzindo os custos (May *et al.*, 2012; Abrassart *et al.*, 2000). Finalizando com a variável de desempenho social, cita-se com maior frequência a quantidade de melhorias realizadas como avanços tecnológicos impactando a sociedade (Rodrigues *et al.*, 2018; Andriankaja *et al.*, 2015; Alonso *et al.*, 2007; Greif *et al.*, 2006) e melhorias contínuas (Romero *et al.*, 2022; Schiavone *et al.*, 2008).

A consideração da remanufatura ou re-uso dos componentes utilizados no produto na fase de desenvolvimento foi uma das práticas muito citada quando relacionadas à *Ecodesign*, diferentemente de *DfE*. Os trabalhos demonstraram a necessidade da análise de remanufatura e reuso desde o *design* (Gupta *et al.*, 2019; Chen, 2018; Shukla *et al.*, 2017; Mani *et al.*, 2013) dentro do Ciclo de Vida do Produto (Boorsma *et al.*, 2022; SCUR *et al.*, 2019), utilizando critérios de recuperabilidade (Hou, 2021; Tian e Chen, 2014; Bracke *et al.*, 2013) solicitadas pelos usuários finais e clientes (Anand *et al.*, 2014). Outro ponto abordado voltado à remanufatura e reuso foi relacionado à estandardização específica e diretrivas para o novo mercado de veículos elétricos (EV) (Massari e Giannoccaro, 2023). No que se refere às variáveis de desempenho, algumas foram citadas como desempenho ambiental na redução de geração de resíduos durante o processo (Boorsma *et al.*, 2022; Chen, 2018; Eddy *et al.*, 2015; Andriankaja *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2006), redução no consumo de materiais (Alaneme e Aikulola, 2022; Shaharuzaman *et al.*, 2019) e variáveis de desempenho operacional focadas na redução de desperdícios (Luo *et al.*, 2023; Shaharuzaman, *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2019; Chen, 2018; Andriankaja *et al.*, 2015) e implementação de *lean manufacture* e melhorias contínuas (Luo *et al.*, 2023; Shukla *et al.*, 2017; Andriankaja *et al.*, 2015).

A prática relacionada a verificação do atendimento à padrões regulamentares atuais desde o design no produto foi também uma das mais abordadas. A adoção de padrões da *Global Reporting Initiative* (GRI) (Massari e Giannoccaro, 2023), *Restriction of Hazardous Substances* (RoHS) (Hunter e Futornick, 2008) e das diretrizes da União Europeia (Boorsma *et al.*; 2022; Mani *et al.*, 2013; Ciacci *et al.*, 2010) somadas a forte pressão regulatória (Antonacci *et al.*, 2022; BI *et al.*, 2017; Magnusson e Berggren, 2001) fazem que vários trabalhos abordassem este tema. Apenas variáveis no campo econômico se destacaram principalmente na redução dos custos de materiais (Bunjes, 2023; Alaneme e Aikulola, 2022; Hou, 2021).

A não utilização de substâncias perigosas (Boorsma *et al.*; 2022; Keivanpour *et al.*, 2017) e uma forte regulamentação tecnológica e ecológica (Pinosová *et al.*, 2019; Tian e Chen, 2014; Veshagh e Li, 2006) fazem com que estes conceitos se tornem um grande diferencial competitivo (Schiavone *et al.*, 2008) para o setor automotivo sendo que a variável no campo econômico; assim como na prática de verificação do atendimento à padrões regulamentares atuais, a mais citada tenha sido a redução do consumo de materiais (Shaharuzaman *et al.*, 2019; Abrassart *et al.*, 2000).

Práticas também pontuadas pelos artigos de maturidade, *Ecodesign* e *design* sustentável relevantes em citações foram relacionados à redução dos impactos na fase de uso do produto e ao design (Schöggel *et al.*, 2017; Eddy *et al.*, 2015; Andriankaja *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2006) onde exemplo de modelagem (Romero *et al.*, 2022, Koffler *et al.*, 2008) e conceitos de inventário (Zhang *et al.*, 2020) foram discutidas e baseadas nos requisitos dos clientes (Andriankaja *et al.*, 2013), à redução do uso de energia (Luo *et al.*, 2023; Villanueva-Rey *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2018; Segarra-Onà *et al.*, 2014; Bracke *et al.*, 2013), emissão de CO₂ no ar (BI *et al.*, 2017; Al-Oqla *et al.*, 2016; Veshagh e Li, 2006; Fleischer e Schmidt, 1997), quantidade de materiais utilizados (Shaharuzaman *et al.*, 2019; Bi *et al.*, 2017; Khan *et al.*, 2006) e a não utilização de substâncias tóxicas durante o processo e no produto (Boorsma *et al.*, 2022; Tian e Chen, 2014; Mani *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2006; Greif *et al.*, 2006).

As práticas que não foram apontadas em *Ecodesign* em produto para o setor automotivo foram relacionadas à utilização de embalagens recicláveis e a redução da quantidade de materiais nas embalagens e as menos levantadas foram relacionadas à durabilidade do produto na fase de desenvolvimento (Boorsma *et al.*, 2022; Alaneme e Aikulola, 2022; Scur *et al.*, 2019;

Anand *et al.*, 2014) e a redução do consumo de água (Boorsma *et al.*, 2022; Scur *et al.*, 2019; Gupta *et al.*, 2019; Andriankaja *et al.*, 2015) com apenas quatro citações.

Do mesmo modo abordado pelos trabalhos levantados de *DfE*, dentre as 23 práticas reconhecidas, identificou-se o mesmo comportamento das citações de DPS porém com trabalhos mais recentes, sendo a mais citada para maturidade no DPS para o setor automotivo voltado à produto foi a análise no *design* do produto (Mayyas *et al.*, 2012; Akman *et al.*, 2011; Perini e Schiavone, 2006; Przekop e Kerr, 2004) com ênfase aos impactos ambientais (Piarone *et al.* 2023; Held *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2016; Aschehoug *et al.*, 2013; Ermolaeva *et al.*, 2004) e nas regulamentações ambientais que pressionam as empresas a incluir as práticas de *DfE* na análise dos processos (Maltese *et al.*; 2017; Dhingra *et al.*, 2010). Outro ponto abordado é relacionado a simplificação das etapas do produto (Rowland e Bell, 1997; Suresh *et al.*, 2016) por meios de *softwares* de análises (Schiavone *et al.*, 2008; Gibson *et al.*, 2001) e se estendendo à cadeia de fornecedores e parceiros (Kincaid *et al.*, 2000; Abrassart *et al.*, 2000). A principal variável citada nos artigos relacionados às análises das etapas do produto foi no campo ambiental, destacando a importância da utilização do *DfE* na redução da geração de resíduos durante o processo produtivo (Piarone *et al.* 2023; Mayyas *et al.*, 2012; Dhingra *et al.*, 2010; Finkbeiner *et al.*, 2001) e na fase de fim de vida do produto (Simões *et al.*, 2016; Akman *et al.*, 2011; Kincaid *et al.*, 2000).

Outra prática citada nos trabalhos levantados foi relacionado a verificação do atendimento aos padrões regulamentares atuais desde o design no produto (Piarone *et al.* 2023; Ahmad *et al.*, 2016; Akman *et al.*, 2011; Shoech *et al.*, 2001) e exigência de regulamentações específicas de substâncias tóxicas e suas consequências (Ahmad *et al.*, 2018; Hook e Van Der Vorst, 1997) ou como diferencial comercial para os clientes / sociedade (Mathivathanan *et al.*, 2022; Guimarães *et al.*, 2021; Gmelin e Seuring, 2014; Aschehoug *et al.*, 2013; Hockerts *et al.*, 1998; Lawrence, 1998) e como entrante em novos mercados (Simões *et al.*, 2016; Schiavone *et al.*, 2008), principalmente no mercado Europeu (Cottry *et al.*, 2006; Ermolaeva *et al.*, 2004; Wenglinski *et al.*, 2002). Para esta prática, as variáveis presentes também foram voltadas ao meio ambiente principalmente com a redução no consumo de materiais (Schiavone *et al.*, 2008) com a recuperação (Hockerts *et al.*, 1998) e utilização de materiais renováveis (Finkbeiner *et al.*, 2006). Estas variáveis serão destacadas com mais ênfase nos próximos capítulos.

Existem outras práticas para o DPS relacionadas aos três campos e que também mereceram citações nos artigos pesquisados como a abordagem da desmontagem (*DfD*) no projeto do produto (Singh e Sarkar, 2020; Held *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2016; Medina, 2006; Hankel e Jürgens, 2005), a possibilidade de reutilização de materiais reciclados na fase de projeto (Piarone *et al.* 2023; Singh e Sarkar, 2020; Suresh *et al.*, 2016; Ahmad, 2014; Schoech *et al.*, 2001 e 2000) e a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados também na fase do projeto do produto (Ahmad *et al.*, 2018; Held *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2016; Aschekoug *et al.*, 2013; Cottry e Smith, 2006; Przekop e Kerr, 2004). De uma forma geral, existem 81 citações em trabalhos que abordaram adicionalmente algum controle no campo ambiental com ênfase na redução do consumo de materiais e geração de resíduos, 73 citações abordando práticas no campo econômico destacando as reduções de custos de materiais e custos de manufatura e apenas 30 abordando o campo social com destaque à redução dos recursos naturais.

Por outro lado, outras práticas de DPS foram menos pontuadas e curiosamente são relacionadas às embalagens de produto. A utilização de embalagens recicláveis (Singh e Sarkar, 2020; Held *et al.*, 2018; Alonso *et al.*, 2001) ou retornáveis (Singh e Sarkar, 2020; Kincaid *et al.*, 2000), a menor utilização de materiais na confecção das embalagens (Singh e Sarkar, 2020; Held *et al.*, 2018; Aschekoug *et al.* 2013; Przekop e Kerr, 2004) e suas respectivas eficiências das próprias embalagens foram pontuadas porém com uma frequência menor nos artigos selecionados. As demais práticas de DPS foram pontuadas mas com menor ênfase do que as listadas acima como durabilidade do produto, geração de resíduos, energia, emissão de poluentes e segurança.

Portanto não foram identificados estudos que detalhassem de forma geral a análise da adoção das práticas de DPS relacionando com aos ambientes econômico, ambiental e social para o setor automotivo e produto. Ainda, apenas 4 artigos correlacionados à *design* sustentável, maturidade e DPS citaram de forma genérica a EC. Após realizar a revisão sistemática da literatura constatou-se 23 práticas de DPS do produto no qual são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Revisão Sistemática

Código	Prática DPS	Conceito	Autores
PDPS_01	Avaliação do Ciclo de Vida - ACV.	Introduzir uma abordagem dinâmica da ACV no projeto para o meio ambiente considerando critérios associados à avaliação do impacto ambiental e etapas processo de desenvolvimento e manufatura apoiando a tomada de decisão.	Priarone et al. (2023); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004); Chen (2018); Al-Oqla et al. (2016); Eddy et al. (2015); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Vinodh et al. (2014); Mani et al. (2013); Maltese et al. (2017); Suresh et al. (2016); Akman et al. (2011); Dhingra et al. (2010); Schiavone et al. (2008); Finkbener et al. (2001) (2006); Pierini; Schiavone (2006); Przekop; Kerr (2004); Wenglinski et al. (2002); Schoech et al. (2001) (2000); Gibson et al. (2001); Alonso et al. (2001); Kincaid et al. (2000); Abrassart et al. (2000); Bigorra et al. (1999); Hockerts et al. (1998); Rowlands; Bell (1997); Hook; Van Der Vorst (1997); Zhu et al. (2023); Romero et al. (2022); Zhang et al. (2022); Scur et al. (2019); Subharaj et al. (2019); Wehner et al. (2019); Villanueva-Rey et al. (2018); Schögl et al. (2017); Anand et al. (2014); Andriankaja et al. (2013); May et al. (2012); Garcia et al. (2012); Ciacci et al. (2010); Koffler et al. (2008); Alonso et al. (2007); Muñoz et al. (2006); Greif et al. (2006); Yamato (1998); Fleischer; Schmidt (1997)
PDPS_02	Considerar aspectos de durabilidade no projeto do produto.	Considerar a durabilidade, com o objetivo de promover a longa vida, especialmente para produto com aspecto ambiental significativo.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Boorsma et al. (2022); Alaneme e Aikulola (2022); Al-Oqla et al. (2016); Andriankaja et al. (2015); Vinodh et al. (2014); Bracke et al., (2013); Scur et al. (2019); Anand et al. (2014)
PDPS_03	Redução dos Impactos durante a fase de uso.	Considerar no desenvolvimento do projeto do produto os aspectos relacionados ao funcionamento, utilização do produto melhorando o desempenho ambiental do projeto na redução da utilização de insumos durante a sua utilização.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Simões et al. (2016); Ahmad (2014); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004); Andriankaja et al. (2015); Bracke et a., (2013); Larkin (2006); Akman et al. (2011); Wenglinski et al. (2002); Schoech et al. (2001) (2000); Alonso et al. (2001); Abrassart et al. (2000); Rowlands; Bell (1997); Hook; Van Der Vorst (1997); Romero et al. (2022); Zhang et al. (2022); Schögl et al. (2017); Anand et al. (2014); Andriankaja et al. (2013); May et al. (2012); Koffler et al. (2008); Alonso et al. (2007); Muñoz et al. (2006); Greif et al. (2006); Yamato (1998)
PDPS_04	Considerar o desenvolvimento de novos conceitos no projeto do produto.	Grau de implantação, complexidade, demandas do mercado, as soluções alcançadas para estes produtos podem ser potencialmente aplicadas a outros com características semelhantes.	Priarone et al. (2023); Gholami et al. (2022); Aikhuele (2017); Simões et al. (2016); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004) Eddy et al. (2015); Andriankaja et al. (2015); Suresh et al. (2016); Schiavone et al. (2008); Pierini; Schiavone (2006); Jeke; Tam (2003); Abrassart et al. (2000); Garcia et al. (2012)
PDPS_05	Considerar o uso eficiente da tecnologia, <i>design</i> para a manufatura (DfM).	O <i>design</i> para o meio ambiente é uma perspectiva de engenharia na qual as características ambientalmente relacionadas de um produto ou processo estão relacionadas ao uso eficiente dos recursos dentro do processo de manufatura.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Ahmad et al. (2018); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Boorsma et al. (2022); Al-Oqla et al. (2016); Eddy et al. (2015); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Vinodh et al. (2014); Mani et al. (2013); Bracke et a., (2013); Suresh et al. (2016); Hopkinson et al. (2006); Hankel; Jürgens (2005); Gibson et al. (2001); Lawrence (1998); Antonacci et al. (2022); Romero et al. (2022); Zhang et al. (2022); Scur et al. (2019); Wehner et al. (2019); Veshagh; Li (2006)
PDPS_06	Considerar a desmontagem (DFD) no projeto do produto	É um conceito em crescimento na manufatura, considerar a desmontagem traz benefícios, minimizam o consumo de material e energia, maximizando a possibilidade de reutilização e reciclagem.	Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Boorsma et al. (2022); Chen (2018); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Vinodh et al. (2014); Bracke et a., (2013); Dhingra et al. (2010); Crotty; Smith (2006); Pierini; Schiavone (2006); Medina (2006); Hopkinson et al. (2006); Hankel; Jürgens (2005); Finkbener et al. (2001); Schoech et al. (2001); Abrassart et al. (2000); Hockerts et al. (1998); Scur et al. (2019); Keivanpour et al. (2017); Anand et al. (2014); Andriankaja et al. (2013); Smith (2011); Alonso et al. (2007); Greif et al. (2006); Yamato (1998)
PDPS_07	Considera no desenvolvimento do produto a remanufatura ou reuso dos componentes utilizados no produto	O processo de remanufatura e /ou reuso na recuperação de componentes e materiais é importante e estabelece uma fonte confiável de materiais e componentes para novos produtos ou reparo de produtos durante o ciclo de vida.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Boorsma et al. (2022); Chen (2018); Tian e Chen (2014); Mani et al. (2013); Bracke et a., (2013); Suresh et al. (2016); Dhingra et al. (2010); Crotty; Smith (2006); Ardayfio (2000); Hockerts et al. (1998); Rowlands; Bell (1997); Massari; Giannoccaro (2023); Hou (2021); Scur et al. (2019); Gupta et al. (2019); Shukla et al. (2017); Anand et al. (2014); Smith (2011); Alonso et al. (2007); Greif et al. (2006); Muñoz et al. (2006)

Continuação da Tabela 1 – Revisão Sistemática

Código	Prática DPS	Conceito	Autores
PDPS_08	Considerar no projeto do produto a possibilidade de reutilização de materiais reciclados.	A reutilização equivale ao aproveitamento de materiais, componentes sem que esses passem por quaisquer tipos de alterações ou complexos processos de processamento, o reuso dos materiais é normalmente simples e refere-se a atividade de um desmonte.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Ahmad et al. (2018); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Ahmad (2014); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004); Bunjes (2023); Boorsma et al. (2022); Alaneeme e Aikulola (2022); Shaharuzaman et al. (2019); Chen (2018); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Vinodh et al. (2014); Mani et al. (2013); Bracke et al., (2013); Suresh et al. (2016); Dhingra et al. (2010); Schiavone et al. (2008); Crotty; Smith (2006); Finkbener et al. (2006) (2001); Pierini; Schiavone (2006); Hopkinson et al. (2006); Hankel; Jürgens (2005); Przekop; Kerr (2004); Schoech et al. (2001) (2000); Kincaid et al. (2000); Zhu et al. (2023); Romero et al. (2022); Hou (2021); Villanueva-Rey et al. (2018); Shukla et al. (2017); Anand et al. (2014); Andriankaja et al. (2013); Khan et al. (2006); Fleischer; Schmidt (1997)
PDPS_09	Considerar no projeto do produto a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados.	A reciclagem de materiais é um processo de recuperação dos materiais e componentes de produtos usados e que poderão ser utilizados em novos produtos. É sugerido projetar um produto antevendo reciclagem para recuperação do material ao final de vida.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Ahmad et al. (2018); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Ahmad (2014); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004); Bunjes (2023); Boorsma et al. (2022); Shaharuzaman et al. (2019); Chen (2018); Al-Oqla et al. (2016); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Vinodh et al. (2014); Mani et al. (2013); Bracke et al., (2013); Dhingra et al. (2010); Crotty; Smith (2006); Medina (2006); Hopkinson et al. (2006); Hankel; Jürgens (2005); Wenglinski et al. (2002); Schoech et al. (2001); Kincaid et al. (2000); Abrassart et al. (2000); Hockerts et al. (1998); Rowlands; Bell (1997); Massari; Giannoccaro (2023); Hou (2021); Scur et al. (2019); Gupta et al. (2019); Keivanpour et al. (2017); Smith (2011); Ciacci et al. (2010); Muñoz et al. (2006); Khan et al. (2006); Yamato (1998)
PDPS_10	Considerar a possibilidade da redução do uso de energia.	Projeto que reduza o consumo de energia durante o uso. Considerar o consumo de energia na fase de utilização quando ainda em desenvolvimento melhorando o <i>design</i> do produto.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Kaveline et al. (2006); Ermolaeva et al. (2004); Luo et al. (2023); Boorsma et al. (2022); Al-Oqla et al. (2016); Eddy et al. (2015); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Mani et al. (2013); Bracke et al., (2013); Suresh et al. (2016); Dhingra et al. (2010); Hunter; Futornick (2008); Wenglinski et al. (2002); Abrassart et al. (2000); Bigorra et al. (1999); Hockerts et al. (1998); Zhu et al. (2023); Scur et al. (2019); Gupta et al. (2019); Subharaj et al. (2019); Villanueva-Rey et al. (2018); Anand et al. (2014); Segarra-Ona et al. (2014); May et al. (2012); Ciacci et al. (2010); Muñoz et al. (2006)
PDPS_11	Considerar a diminuição do consumo de água.	Considerar no projeto do produto ações com objetivo de redução do consumo de água durante o processo de manufatura e durante o uso em vida.	Boorsma et al. (2022); Andriankaja et al. (2015); Suresh et al. (2016); Dhingra et al. (2010); Finkbener et al. (2001); Hockerts et al. (1998); Scur et al. (2019); Gupta et al. (2019)
PDPS_12	Considerar a diminuição de emissão de CO ₂ para o ar.	Considerar no projeto do produto os aspectos ambientais para minimizar os riscos de emissões disseminadas de CO ₂ nas fases de produção, consumo e eliminação do ciclo de vida dos produtos.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Gmelin e Seuring (2014); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004); Bi et al. (2017); Al-Oqla et al. (2016); Andriankaja et al. (2015); Maltese et al. (2017); Suresh et al. (2016); Finkbener et al. (2006) (2001); Kincaid et al. (2000); Zhu et al. (2023); Romero et al. (2022); Subharaj et al. (2019); Villanueva-Rey et al. (2018); Anand et al. (2014); Garcia et al. (2012); Smith (2011); Veshagh; Li (2006); Khan et al. (2006); Yamato (1998); Fleischer; Schmidt (1997)
PDPS_13	Considerar a não utilização de substâncias perigosas (Tóxicas) no produto.	Na definição do material a ser utilizado em um determinado produto considerar materiais com baixo índice de toxicidade e ou se possível isentas com propriedades que não interfiram no meio ambiente no seu descarte.	Singh e Sarkar (2020); Ahmad et al. (2018); Held et al. (2018); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Boorsma et al. (2022); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Mani et al. (2013); Dhingra et al. (2010); Medina (2006); Przekop; Kerr (2004); Finkbener et al. (2001); Schoech et al. (2001); Alonso et al. (2001); Abrassart et al. (2000); Hockerts et al. (1998); Hou (2021); Scur et al. (2019); Gupta et al. (2019); Keivanpour et al. (2017); Anand et al. (2014); Smith (2011); Hunter; Futornick (2008); Alonso et al. (2007); Muñoz et al. (2006); Greif et al. (2006)

Continuação da Tabela 1 – Revisão Sistemática

Código	Prática DPS	Conceito	Autores
PDPS_14	Considerar no projeto do produto a oportunidade de reduzir quantidade de materiais utilizados.	No desenvolvimento do produto é possível considerar a redução da quantidade de material utilizado e cumprimento dos requisitos do produto e regulamentações para minimizarem o peso sem interferir flexibilidade, resistência ao impacto ou propriedades funcionais.	Priarone et al. (2023); Guimarães et al. (2021); Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Gmelin e Seuring (2014); Mayyas et al. (2012); Shaharuzaman et al. (2019); Bi et al. (2017); Maltese et al. (2017); Akman et al. (2011); Schiavone (2008); Ardayfio (2000); Bigorra et al. (1999); Antonacci et al. (2022); Zhang et al. (2022); Gupta et al. (2019); Subharaj et al. (2019); Villanueva-Rey et al. (2018); Schöggel et al. (2017); Anand et al. (2014); May et al. (2012); Smith (2011)
PDPS_15	Considerar a diminuição da geração de resíduos sólidos.	O projeto precisa concentrar-se na redução do consumo de materiais buscando a minimização de resíduos sólidos. Ações preventivas com objetivo de minimizar e eliminar a quantidade de material e insumos utilizados no produto.	Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Ahmad et al. (2018); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Ahmad (2014); Mayyas et al. (2012); Luo et al. (2023); Boorsma et al. (2022); Shaharuzaman et al. (2019); Chen (2018); Eddy et al. (2015); Andriankaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Mani et al. (2013); Dhingra et al. (2010); Hankel; Jürgens (2005); Finkbener et al. (2001); Alonso et al. (2001); Kincaid et al. (2000); Hockerts et al. (1998); Rowlands; Bell (1997); Romero et al. (2022); Scur et al. (2019); Shukla et al. (2017); Anand et al. (2014); Smith (2011); Ciacci et al. (2010); Hunter; Futornick (2008); Khan et al. (2006)
PDPS_16	Considerar no projeto do produto a utilização de embalagens recicláveis.	Certifique-se de que sua embalagem possui conteúdo reciclável, devem ser desenvolvidas de forma a facilitar a sua reciclagem.	Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Andriankaja et al. (2015); Alonso et al. (2001); Kincaid et al. (2000)
PDPS_17	Considerar no projeto do produto a redução da quantidade de materiais nas embalagens.	O impacto ambiental causado pelas embalagens, é um assunto discutido há anos no entanto alternativas devem ser buscadas a fim de reduzir ainda mais a quantidade de materiais e anos causados ao meio ambiente, melhorando a gestão de resíduos.	Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Aschehoug et al. (2013); Andriankaja et al. (2015); Przekop; Kerr (2004); Kincaid et al. (2000)
PDPS_18	Considerar no projeto do produto a utilização de embalagens retornáveis	Desenvolver o projeto do produto considerando a embalagem retornável. A utilização de embalagens retornáveis pode reduzir os custos devido à multifuncionalidade.	Singh e Sarkar (2020); Boorsma et al. (2022); Kincaid et al. (2000); Scur et al. (2019)
PDPS_19	Considerar a eficiência da embalagem do produto.	Eficiência espacial e de proteção da embalagem deve ser considerado por impactarem nos transportes e armazenagem.	Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Aschehoug et al. (2013); Andriankaja et al. (2015); Przekop; Kerr (2004); Kincaid et al. (2000); Romero et al. (2022)
PDPS_20	Considerar na rotulagem dos materiais e instruções para eliminação e descarte.	Incluir informações nos rótulos de identificação sobre os materiais utilizados e formas de descarte ambientalmente corretos.	Aschehoug et al. (2013); Bi et al. (2017); Dhingra et al. (2010); Schiavone (2008); Finkbener et al. (2006); Przekop; Kerr (2004); Shukla et al. (2017); Hunter; Futornick (2008)
PDPS_21	Considerar aspectos de distribuição e transportes.	Considerar a otimização logística, priorizando o uso de veículos com menor emissão de poluentes, menor consumo de combustível.	Singh e Sarkar (2020); Simões et al. (2016); Boorsma et al. (2022); Andriankaja et al. (2015); Przekop; Kerr (2004); Bigorra et al. (1999); Hockerts et al. (1998); Rowlands; Bell (1997); Massari; Giannoccaro (2023); Gupta et al. (2019); Villanueva-Rey et al. (2018); Schöggel et al. (2017); Anand et al. (2014)

Continuação da Tabela 1 – Revisão Sistemática

Código	Prática DPS	Conceito	Autores
PDFE_22	Considerar normas e regulamentações de padrões ambientais.	Garantir o uso de matérias-primas e componentes que estejam em conformidade com as normas de proteção ambiental.	Priarone et al. (2023); Mathivathanan et al. (2022); Guimarães et al. (2021); Ahmad et al. (2018); Simões et al. (2016); Ahmad et al. (2016); Gmelin e Seuring (2014); Aschehoug et al. (2013); Ermolaeva et al. (2004); Boorsma et al. (2022); Eddy et al. (2015); Andrianikaja et al. (2015); Akman et al. (2011); Tian e Chen (2014); Mani et al. (2013); Dhingra et al. (2010); Schiavone et al. (2008); Crotty; Smith (2006); Finkbener et al. (2006); Pierini; Schiavone (2006); Wenglinski et al. (2002); Schoech et al. (2001); Kincaid et al. (2000); Abrassart et al. (2000); Hockerts et al. (1998); Lawrence (1998); Hook; Van Der Vorst (1997); Massari; Giannoccaro (2023); Antonacci et al. (2022); Hou (2021); Scur et al. (2019); Pinosová et al. (2019); Keivanpour et al. (2017); May et al. (2012); Garcia et al. (2012); Smith (2011); Ciacci et al. (2010); Hunter; Futornick (2008); Veshagh; Li (2006); Khan et al. (2006); Magnusson; Berggren (2001)
PDFE_23	Considerar aspectos de segurança e saúde no projeto do produto.	Adotar as expectativas dos clientes e os requisitos regulamentares como importantes elementos de orientação para saúde e segurança no projeto do produto, fase de manufatura, uso e descarte ao final de vida.	Singh e Sarkar (2020); Held et al. (2018); Simões et al. (2016); Gmelin e Seuring (2014); Aschehoug et al. (2013); Mayyas et al. (2012); Ermolaeva et al. (2004); Boorsma et al. (2022); Bi et al. (2017); Andrianikaja et al. (2015); Tian e Chen (2014); Maltese et al. (2017); Dhingra et al. (2010); Alonso et al. (2001); Subharaj et al. (2019); Schögl et al. (2017); Anand et al. (2014); Schmidt (2008)

2.3.2 – Matriz de relação de Práticas de DPS e Etapas de Desenvolvimento

Como visto na fundamentação teórica, os modelos de desenvolvimento trazem conceitos mais alinhados para aplicação no *design* e nas etapas de desenvolvimento voltadas a ganhos ambientais, econômicos e sociais que estão interligadas às práticas de DPS. Para a facilitação no entendimento destas relações e visando um gerenciamento visual de tais práticas, foi construída a Matriz de Relacionamento a seguir apresentada na tabela 2 que demonstra que, em alguns campos dos modelos propostos, mais de uma prática pode ser relacionada.

Isto demonstra a amplitude da ferramenta e a abrangência das práticas de DPS.

Tabela 2 – Matriz de relacionamento entre Práticas de DPS e Etapas de Desenvolvimento

2.3.3 – Ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do DPS

Além da Matriz de Práticas de DPS relacionadas as etapas de Desenvolvimento, foi desenvolvido uma RSL para identificar os possíveis ganhos econômicos, ambientais e sociais com a adoção do DPS considerando a Economia Circular. Tais ganhos foram identificados como variáveis que devem ser abordados como sendo efeitos relacionados aos impactos das práticas de DPS.

2.3.3.1 – Ganhos econômicos da adoção do DPS

Analizando as práticas baseadas no campo econômico, as empresas visam como foco principal a melhoria da lucratividade já sendo pensada desde a análise de *design* (Guimarães *et al.*, 2021; Shaharuzaman *et al.*, 2019; Romero *et al.*, 2022) e a minimização de custos (Held *et al.*, 2018; Bi *et al.*, 2017; Pinosová *et al.*, 2019) alinhadas à qualidade do produto (Eddy *et al.*, 2015; ; Gmeliin e Seuring, 2014), ganhos futuros na reciclagem (Keivaniour *et al.*, 2017) e a revalorização de materiais (Simões *et al.*, 2016; Tian e Chen, 2014; Vinodh *et al.*, 2014; Hockerts *et al.*, 1998). Para isto, investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) se fazem cada vez mais necessários (Singh e Sarkar, 2020; Hunter e Futornick, 2008), utilizando *softwares* de simulação (Gibson *et al.*, 2001) na aplicação de novos materiais e aplicações (Finkbeiner *et al.*, 2001), fazendo assim com que a utilização de equipes mais experientes (Gmeliin e Seuring, 2014; Jeke e Tam, 2003) seja imprescindível. Segundo estudo quantitativo, gastos em treinamento para a equipe de P&D chegam a mais de USD\$ 200K por ano (Lawrence, 1998).

A variável de redução dos custos de energia demonstra estudos quantitativos com potenciais ganhos para recuperação de energia através de refugo de material (Al-Oqla *et al.*, 2016; Andriankaja *et al.*, 2015; Kaveline *et al.*, 2006; Ermolaeva *et al.*, 2004; Wenglinski *et al.*, 2002), no processo de fabricação (Vllanueva-Rey *et al.*, 2018; Mani *et al.*, 2013) com maior eficiência energética (Piarone *et al.*, 2023; Aschelhoug *et al.*, 2013; May *et al.*, 2012) e análise de consumo (Segarra-Ona *et al.*, 2014; Mani *et al.*, 2013; Mayyas *et al.*, 2012) até a fase final do produto (Luo *et al.*, 2023; Anand *et al.*, 2014). Porém é muito mais citado como desempenho

ambiental do que econômico. Por outro lado, vários estudos demonstraram ganhos de redução dos custos de materiais (Priarone *et al.*, 2023; Abrassart *et al.*, 2000) por serem mais tangíveis e de fácil contabilização (Alonso *et al.*, 2001). Isso incluiu redução de peso do produto final (Singh e Sarkar, 2020; Held *et al.*, 2018; Bigorra *et al.*, 1999) e utilização de outros materiais sustentáveis (Bunjes, 2023; Alaneme e Aikulola, 2022; Schögl *et al.*, 2017) já na fase de *design* (Chen, 2018; Akman *et al.*, 2011). A redução dos custos ambientais também foi pontuada como variável no campo econômico principalmente na eliminação de substâncias tóxicas (Przekop e Kerr, 2004) reduzindo custos futuros (Massari e Giannoccaro, 2023; Rodrigues *et al.*, 2018; Aikhuele, 2017; Mani *et al.*, 2013; Ermolaeva *et al.*, 2004) de possíveis descontaminações (Mathivathanan *et al.*, 2022; Hopkinson *et al.*, 2006;) já na fase do *design* do produto (Luo *et al.*, 2023; Shaharuzaman *et al.*, 2019; Larkin, 2006). Por possuir uma tangibilidade maior economicamente, a redução dos custos de manufatura acabou sendo a variável de desempenho mais pontuada. Estudos utilizando tópicos de DFMA (Suresh *et al.*, 2016) reduzindo o tempo de execução de tarefas (Tian e Chen, 2014; Hopkinson *et al.*, 2006) e a utilização de novos materiais (Zhang *et al.*, 2020; Andriankaja *et al.*, 2015; Mayyas *et al.*, 2012) com a inclusão de novos dados de processo (Singh e Sarkar, 2020; Scur *et al.*, 2019) foram empregados desde o projeto (Priarone *et al.*, 2023; Wehner *et al.*, 2019; Eddy *et al.*, 2015; Aschehouh *et al.*, 2013).

Ainda, as práticas de DPS relacionadas ao campo operacional das empresas também foram explorados e pontuados. As variáveis operacionais podem por vezes serem confundidas com as variáveis econômicas por estarem intrinsecamente ligadas às melhorias de redução de tempo e apresentando ganhos de capacidade operacional atingindo a excelência (Gupta *et al.*, 2019; Held *et al.*, 2018) com maior flexibilidade e de redução de custos de mão-de-obra (Simões *et al.*, 2016; Tian e Chen, 2014; Segarra-Onà *et al.*, 2014) privilegiando a experiência operacional e atingindo uma maior eficiência (Koffler *et al.*, 2008). A redução dos desperdícios desde a fase de *design* (Crotty e Smith, 2006) vai desde a minimização de resíduos (Priarone *et al.*, 2023; Gupta *et al.*, 2019; Andriankaja *et al.*, 2015) através de reações catalíticas e (Dhingra *et al.*, 2010), com a adição de práticas de *Lean* (Guimarães *et al.*, 2021; (Singh e Sarkar, 2020; Shukla *et al.*, 2017) melhorando assim o resultado financeiro (Shaharuzaman *et al.*, 2019; Scur *et al.*, 2019).

Como as variáveis econômicas são mais relacionadas aos ganhos de tempo, vários estudos demonstraram redução no tempo de execução de tarefas utilizando *softwares* de gestão (Andriankaja *et al.*, 2013), DFMA (Suresh *et al.*, 2016) ou já inserindo melhorias de execução durante o processo de *design* (Tian e Chen, 2014; Hopkinson *et al.*, 2006) trazendo para as montadoras uma maior competitividade (Abrassart *et al.*, 2000) já que é altamente ligada também a variável de uma maior quantidade de melhorias realizadas. Vários estudos apresentaram melhorias contínuas (Andriankaja *et al.*, 2015; Schiavone *et al.* 2008) e potenciais de otimização (Luo *et al.*, 2023; Schoech *et al.*, 2001) com novas tecnologias (Greif *et al.*, 2006). Todas as melhorias nas variáveis econômicas acabam finalizando com o aumento no número de lançamentos realizados (May *et al.*, 2012) pelas empresas automotivas, melhorando seus respectivos indicadores (Scur *et al.*, 2019). Todas estas variáveis estão descritas na tabela 3.

Tabela 3 – Variáveis de ganhos econômicos

Variável	Descrição da Variável	Autor(es)
Acúmulo no Lucro	Relaciona o aumento do % de lucro em novos produtos ou modificações com a aplicação das práticas (Contribuição de margem incremental de novos produtos, desempenho ambiental da empresa).	Guimarães <i>et al.</i> (2021); Shaharuzaman <i>et al.</i> (2019); Rodrigues <i>et al.</i> (2018); Hockerts <i>et al.</i> (1998); Romero <i>et al.</i> (2022); Pinosová <i>et al.</i> (2019); Keivanpour <i>et al.</i> (2017); Held <i>et al.</i> (2018); Eddy <i>et al.</i> (2015); Gmelin e Seuring (2014); Simões <i>et al.</i> (2016); Tian e Chen (2014); Vinodh <i>et al.</i> (2014)
Investimento em Pesquisas e Desenvolvimento	Relaciona a quantidade % de investimentos em capital empregado e pesquisa e desenvolvimento de novos produtos ou modificações.	Jeke; Tam (2003); Finkbener <i>et al.</i> (2001); Gibson <i>et al.</i> (2001); Lawrence (1998); Singh e Sarkar (2020); Rodrigues <i>et al.</i> (2018); Hunter e Futornick (2008); Gmelin e Seuring (2014);
Redução dos Custos de Energia	Relaciona ao desempenho econômico o resultado da redução do % gasto com o consumo de energia, melhorando os custos.	Wenglinski <i>et al.</i> (2002); Villanueva-Rey <i>et al.</i> (2018); Al-Oqla <i>et al.</i> (2016); Andriankaja <i>et al.</i> (2015); Kaveline <i>et al.</i> (2006); Ermolaeva <i>et al.</i> (2004); Mani <i>et al.</i> (2013); Mayyas <i>et al.</i> (2012); Luo <i>et al.</i> (2023); Aschehoug <i>et al.</i> (2013); May <i>et al.</i> (2012); Rodrigues <i>et al.</i> (2018); Segarra-Onà <i>et al.</i> (2014); Anand <i>et al.</i> (2014)
Redução dos Custos de Materiais	Relaciona o ganho econômico com a redução do custo dos materiais utilizados no projeto do produto - Custos reduzidos de material (Diminuição do custo de compra de materiais).	Akman <i>et al.</i> (2011); Alonso <i>et al.</i> (2001); Abrassart <i>et al.</i> (2000); Bigorra <i>et al.</i> (1999); Schögl <i>et al.</i> (2017); Priarone <i>et al.</i> (2023); Singh e Sarkar (2020); Held <i>et al.</i> (2018); Bunjes (2023); Alaneme e Aikulola (2022); Rodrigues <i>et al.</i> (2018); Chen (2018)
Redução dos Custos Ambientais	Está relacionado a responsabilidade ambiental da empresa, é um dos fatores chaves para a valorização da marca agregando valor (tratamento ou destinação de resíduos).	Hopkinson <i>et al.</i> (2006); Przekop e Kerr (2004); Massari e Giannoccaro (2023); Rodrigues <i>et al.</i> (2018); Aikhuele (2017); Mani <i>et al.</i> (2013); Ermolaeva <i>et al.</i> (2004); Mathivathanan <i>et al.</i> (2022); Luo <i>et al.</i> (2023); Shaharuzaman <i>et al.</i> (2019); Larkin (2006)
Redução dos Custos de Manufatura	Relacionam os ganhos no processo de Manufatura, onde a escolha correta da inovação e tecnologia, colaboração, gestão do conhecimento e relatórios de processos e compras trazem ganhos econômicos.	Suresh <i>et al.</i> (2016); Hopkinson <i>et al.</i> (2006); Zhang <i>et al.</i> (2022); Scur <i>et al.</i> (2019); Wehner <i>et al.</i> (2019); Tian e Chen (2014); Andriankaja <i>et al.</i> (2015); Mayyas <i>et al.</i> (2012); Singh e Sarkar (2020); Priarone <i>et al.</i> (2023); Eddy <i>et al.</i> (2015); Aschehoug <i>et al.</i> (2013)

2.3.3.2 Ganhos ambientais da adoção do DPS

Seguindo-se com as práticas no campo ambiental, pesquisas abordaram de forma quantitativa a redução do consumo de energia (Luo *et al.*, 2023; Priarone *et al.*, 2023; Mayyas *et al.*, 2012) desde a recuperação de energia através do refugo de material (Ermolaeva *et al.*, 2004; Wenglinski *et al.*, 2002) na produção (Subharaj *et al.*, 2019), na fase de uso do cliente (Held *et al.*, 2018; Anand *et al.*, 2014), com novas técnicas de sonoquímica e de micro ondas (Dhingra *et al.* 2010), durante a análise interna do processo (Simões *et al.*, 2016; Bigorra *et al.*, 1999) para uma maior eficiência energética (Boorsma *et al.*, 2022; Scur *et al.*, 2019) e através de *softwares* de controle de redução de energia (Ciacci *et al.*, 2010) visando redução de custos (Bracke *et al.*, 2013; Hunter e Futornick, 2008). Outro estudo apresentou de forma qualitativa o controle de inventário para armazenamento de energia (Hockerts *et al.*, 1998).

Com foco na minimização da emissão de gases de efeito estufa (GEE), as empresas voltadas ao setor automotivo trabalham este tema com prioridade (Held *et al.*, 2018; Al-Oqla *et al.*, 2016; Kincaid *et al.*, 2000) por ser o automóvel um grande catalisador de emissões (Pриароне *et al.*, 2023; Romero *et al.*, 2022; Bi *et al.*, 2017) de alta pegada de carbono (Andriankaja *et al.*, 2015; Gmelin e Seuring, 2014; Smith, 2011; Ermolaeva *et al.*, 2004) com forte legislação ambiental (Veshagh e Li, 2006). Estudo quantitativo mostrou que a redução pode atingir 6% na redução de emissões (Singh e Sarkar, 2020; Finkbeiner *et al.* 2006) aplicando práticas de *DfE* na fase de uso (Fleischer e Schmidt, 1997) que, somados à estudos de adoção de novas tecnologias e materiais (Maltese *et al.*, 2017) e auxiliam outros controles de acidificação do ar (Suresh *et al.*, 2016).

Para a redução do consumo de água, apresentaram-se estudos de caso qualitativos de eutrofização da água (Hockerts *et al.*, 1998) e calculados usando fórmulas baseadas nas quantidades de poluentes descarregados na água (Boorsma *et al.*, 2022; Dhingra *et al.*, 2016) já que um dos impactos de custo mais relevantes na fase de produção é o consumo de água (Andriankaja *et al.*, 2015; Hook e Van Der Vorst, 1997). Já na redução da geração de resíduos, estudos demonstram que devem ser considerados já na fase de *design* (Ahmad *et al.*, 2018; Hankel e Jürgens, 2005; Alonso *et al.*, 2001) utilizando reações catalíticas (Dhingra *et al.*, 2010), já que trata-se também de um dos impactos mais relevantes na fase de produção

(Piarone *et al.*, 2023; Singh e Sarkar, 2020; Shukla *et al.*, 2017) reduzindo o custo do produto final (Scur *et al.*, 2019). Inclui-se aqui estudos que mostraram que os fornecedores e clientes também estão preocupados com a deposição de resíduos (Ahmad, 2014; Ciacci *et al.*, 2010) e para isso se fazem necessários estratégias logísticas diferenciadas (Rowlands e Bell, 1997) atendendo também todos os critérios legais (Mani *et al.*, 2013; Smith, 2011).

Estudos para redução do consumo de materiais foram voltados à seleção de novos materiais e tecnologias (Alaneme e Aikulola, 2022; Shaharuzaman *et al.*, 2019; Maltese *et al.*, 2017) desde o *design* (Bigorra *et al.*, 1999) utilizando conceitos de materialização (Piarone *et al.*, 2023; Schiavone *et al.*, 2008). Um estudo quantitativo demonstrou a possibilidade de 73% de aumento de utilização de materiais renováveis e recicláveis (Alaneme e Aikulola, 2022; Schoech *et al.*, 2000) e se pensado desde à fase de *design* podem atingir reduções de até 46% no consumo de matéria-prima (Alonso *et al.*, 2001). A utilização de sistemas múltiplos para redução de material também foi pontuado (Singh e Sarkar, 2020; Ardayfio, 2000) assim também como a recuperação de material (Hockerts *et al.*, 1998).

A redução da quantidade de acidentes ambientais também foi pontuada já que vários processos possuem potencial de causar impactos agudos e crônicos não intencionais na saúde humana (Bi *et al.*, 2017; Kaveline *et al.*, 2006), desde a utilização de nanomateriais (Dhingra *et al.*, 2010) e materiais tóxicos (Medina, 2006). Novos requisitos legais também reduzem os impactos ambientais causados pelo automóvel (Ascheloug *et al.*, 2013; Schoech *et al.*, 2001).

Com isso, o DPS pode ser alcançado desde a redução de peso dos componentes auxiliando o usuário final na fase de uso, considerando material e o processo de produção, garantindo as melhorias no campo ambiental (Andriankaja *et al.*, 2015; Wenglinski *et al.*, 2002) e trazendo resultados promissores para um *design* de veículos com consciência ambiental durante os processos de desenvolvimento de produtos (Khan *et al.*, 2006). Todas estas variáveis estão descritas na tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis de ganhos ambientais

Variável	Descrição da Variável	Autor(es)
Redução no consumo de energia	As indústrias consomem uma grande quantidade de energia em seus processos e os produtos em durante o uso é necessário verificar a % de redução possível nesses processos.	Dhingra et al. (2010); Bigorra et al. (1999); Hockerts et al. (1998); Subharaj et al. (2019); Ciacci et al. (2010); Hunter; Futornick (2008); Luo et al. (2023); Priarone et al. (2023); Rodrigues et al. (2018); Mayyas et al. (2012); Held et al. (2018); Anand et al. (2014); Ermolaeva et al. (2004); Wenglinski et al. (2002); Simões et al. (2016); Boorsma et al. (2022); Scur et al. (2019); Bracke et al. (2013)
Minimização da emissão de gases de efeito estufa (GEE).	Medir as emissões para o ar (acidificação atmosférica, fotoquímica, formação de ozônio, etc.), verificar a % de redução.	Maltese et al. (2017); Suresh et al. (2016); Rodrigues et al. (2018); Held et al. (2018); Al-Oqla et al. (2016); Kincaid et al. (2000); Priarone et al. (2023); Romero et al. (2022); Bi et al. (2017); Andriankaja et al. (2015); Gmelin e Seuring (2014); Smith (2011); Ermolaeva et al. (2004); Veshagh e Li (2006); Singh e Sarkar (2020); Finkbeiner et al. (2006); Fleischer e Schmidt (1997)
Redução do consumo de água	O consumo de água no processo de manufatura e no produto na fase de uso deve ser considerado durante a concepção do projeto considerando processo com menor (consumo, acidificação, demanda de oxigênio, eco toxicidade para a vida aquática e etc.). É necessário verificar a % de redução ou eliminação possível nesses processos.	Bora et al. (2022); Andriankaja et al. (2015); Dhingra et al. (2010); Hockerts et al. (1998); Hook e Van Der Vorst (1997)
Redução na Geração de Resíduos	A quantidade de resíduos gerados torna-se indicador chave para medição da eficiência dos seus processos e fim de vida do produto, considerar fatores de remanufatura, reciclagem são formas interessantes de avaliar o desempenho ambiental (quantidade/ano, recicláveis e reutilizáveis).	Dhingra et al. (2010); Hankel; Jürgens (2005); Rowlands e Bell (1997); Scur et al. (2019); Smith (2011); Ciacci et al. (2010); Ahmad et al. (2018); Priarone et al. (2023); Singh e Sarkar (2020); Shukla et al. (2017); Ahmad (2014); Mani et al. (2013)
Redução no consumo de materiais	Concentra-se na proposta de redução d consumo ou substituição de materiais perigosos, nocivos, tóxicos à saúde como forma de melhorar o desempenho ambiental da empresa pode ser substituída por (fibras vegetais, sintéticas).	Maltese et al. (2017); Schiavone et al. (2008); Schoech et al. (2000); Ardayfio (2000); Bigorra et al. (1999); Hockerts et al. (1998); Alaneme e Aikulola (2022); Sharuzaman et al. (2019); Rodrigues et al. (2018); Priarone et al. (2023); Alonso et al. (2001); Singh e Sarkar (2020)
Redução da quantidade de Acidentes Ambientais	Durante o desenvolvimento do projeto do produto observar questões de materiais, processo de manufatura e fim de via, objetivando a diminuição da chance de ocorrência de acidentes ambientais.	Bi et al. (2017); Medina (2006); Schoech et al. (2001); Kaveline et al. (2006); Aschehoug et al. (2013)
Número de DfE/Ecodesign do produto.	Medir a % dos projetos que usam o Design para o Meio Ambiente (DfE) como forma de melhorar o desempenho ambiental da empresa.	Wenglinski et al. (2002); Khan et al. (2006); Andriankaja et al. (2015);

2.3.3.3 – Ganhos sociais da adoção do DPS

As práticas de DPS relacionadas ao campo social também foram explorados e pontuadas. As variáveis sociais podem por vezes serem confundidas com as variáveis ambientais por também estarem intrinsecamente ligadas.

Os ganhos sociais estão relacionados aos impactos à sociedade. A redução da utilização de recursos naturais foram abordados em alguns trabalhos de forma quantitativa com a redução do consumo de energia (Luo *et al.*, 2023; Priarone *et al.*, 2023; Mayyas *et al.*, 2012). Para a redução da necessidade do recurso natural água, alguns autores apresentaram estudos de caso

qualitativos de eutrofização da água (Hockerts *et al.*, 1998) e calculados usando fórmulas baseadas nas quantidades de poluentes descarregados na água (Boorsma *et al.*, 2022; Dhingra *et al.*, 2016).

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) é outra variável importante que gera impacto à sociedade. Como os veículos automotores são um grande catalisador da emissão dos GEE, muitos trabalhos focam no setor automotivo (Held *et al.*, 2018; Al-Oqla *et al.*, 2016; Kincaid *et al.*, 2000) por ser um grande catalisador de emissões (Priarone *et al.*, 2023; Romero *et al.*, 2022; Bi *et al.*, 2017) e de alta pegada de carbono (Andriankaja *et al.*, 2015; Gmeliin e Seuring, 2014; Smith, 2011; Ermolaeva *et al.*, 2004;) com forte legislação ambiental (Veshagh e Li, 2006). Outro estudo quantitativo mostrou que a redução pode atingir 6% na redução de emissões (Singh e Sarkar, 2020; Finkbeiner *et al.*, 2006) aplicando práticas de DfE na fase de uso (Fleischer e Schmidt, 1997) e auxiliam outros controles de acidificação do ar (Suresh *et al.*, 2016).

Já na redução da geração de resíduos, estudos demonstram que devem ser considerados já na fase de *design* (Mayyas *et al.*, 2012; Ahmad *et al.*, 2018; Hankel e Jürgens, 2005; Alonso *et al.*, 2001) incluindo-se estudos que mostram que os stakeholders estão preocupados com a deposição de resíduos (Ahmad, 2014; Ciacci *et al.*, 2010) e para isso se faz necessários estratégias logísticas (Rowlands e Bell, 1997) atendendo todos os critérios legais (Mani *et al.*, 2013; Smith, 2011).

Outra prática citada nos trabalhos levantados foi relacionado a verificação do atendimento aos padrões regulamentares atuais para a utilização de substâncias tóxicas e suas consequências (Ahmad *et al.*, 2018; Hook e Van Der Vorst, 1997) ou como diferencial comercial para os clientes / sociedade (Mathivathanan *et al.*, 2022; Guimarães *et al.*, 2021; Gmeliin e Seuring, 2014; Aschehoug *et al.*, 2013; Hockerts *et al.*, 1998; Lawrence, 1998) e como entrante em novos mercados (Simões *et al.*, 2016; Schiavone *et al.*, 2008) principalmente no mercado Europeu (Cottry *et al.*, 2006; Ermolaeva *et al.*, 2004; Wenglinski *et al.*, 2002) e relacionados a saúde e segurança do produto (Schmidt (2008); Mayyas *et al.* (2012); Schöggel *et al.*; 2017).

Do mesmo modo que a tabela anterior, após realizar a revisão sistemática da literatura relacionada aos ganhos ambientais, econômicos e sociais, constatou-se 5 variáveis de ganhos

no campo de análise social que são impactados com as práticas de DPS do produto na qual são apresentadas na Tabela 5 à seguir.

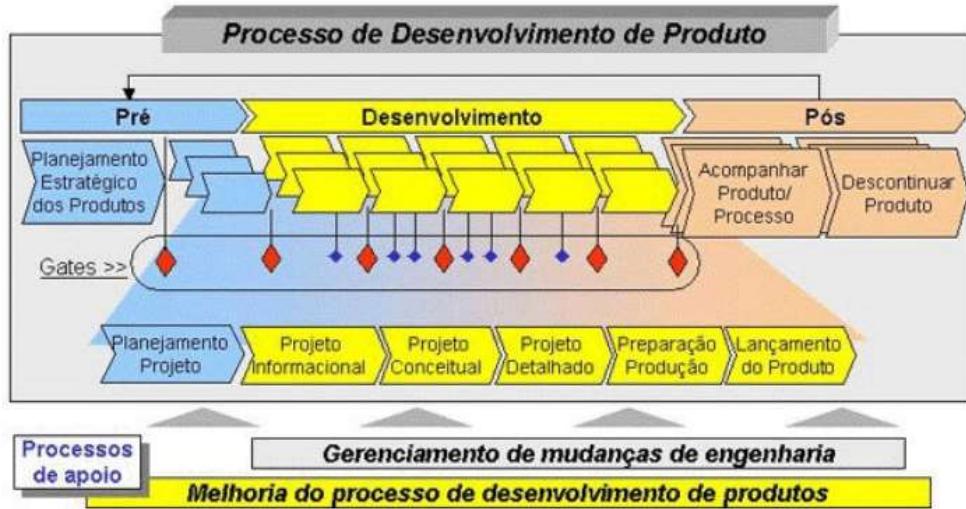
Tabela 5 – Variáveis de ganhos sociais

Variável	Descrição da Variável	Autor(es)
Redução de resíduos sólidos destinado a aterros sanitários	Relaciona o descarte de resíduos sólidos de materiais e demais resíduos em aterros sanitários com potencial risco de contaminação a população e a sociedade	Ahmad et al. (2018); Hankel e Jürgens, (2005); Alonso et al. (2001); Ahmad (2014); Ciacci et al. (2010); Rowlands e Bell (1997); Mani et al. (2013); Smith (2011)
Não utilização de substâncias tóxicas descartadas no meio ambiente	Eliminação de quaisquer elemento ou material que possua em sua composição substâncias tóxicas ou perigosas que podem afetar a saúde do ser humano e sociedade	Ahmad et al. (2018); Hook e Van Der Vorst (1997); (Mathivathanan et al. (2022); Guimarães et al. (2021); Gmelin e Seuring (2014); Aschehoug et al. (2013); Hockerts et al. (1998); Lawrence (1998); Simões et al. (2016); Schiavone et al. (2008); Cottry et al. (2006); Ermolaeva et al. (2004); Wenglinski et al. (2002)
Redução da emissão de CO ₂ no ar	Relaciona a redução de gases de efeito estufa (GEE) e de CO ₂ que impactam na qualidade do ar e na respiração das pessoas e da sociedade	Held et al. (2018); Al-Oqla et al. (2016); Kincaid et al. (2000); Priarone et al. (2023); Romero et al. (2022); Bi et al. (2017); Andriankaja et al. (2015); Gmelin e Seuring (2014); Smith (2011); Ermolaeva et al. (2004); Veshagh e Li (2006); Singh e Sarkar (2020); Finkbener et al. (2001); Fleischer e Schmidt (1997); Suresh et al. (2016)
Redução da utilização de recursos naturais	Relaciona a redução da utilização de recursos naturais principalmente não renováveis que podem afetar na quantidade de recursos, impactando o ser humano e a sociedade	Luo et al. (2023); Priarone et al. (2023); Rodrigues et al. (2018); Mayyas et al. (2012); Hockerts et al. (1998); Dhingra et al. (2010); Boorsma et al. (2022)
Redução de impactos a saúde e segurança	Relaciona padrões de segurança e saúde na manufatura, distribuição e uso do produto (melhorias na Ergonomia, redução de componentes cortantes, etc.)	Schmidt (2008); Mayyas et al. (2012); Schögl et al. (2017)

2.4 – FRAMEWORK BASEADO NOS MODELOS DE DPS

Conforme aprofundado no capítulo da Introdução, alguns modelos de desenvolvimento empregados pelas empresas não conseguem discutir com maior propriedade o campo de EC no ambiente de sustentabilidade. Já verificamos na teoria o modelo de Rozenfeld *et al.* (2006) para a gestão de desenvolvimento de produtos. O modelo na figura 6 mostra de forma visual que as questões relacionadas à sustentabilidade não são abordadas com ênfase em nenhum momento. Chama-se este modelo apresentado na figura 6 como Linear já que não demonstra a necessidade do retorno da utilização de materiais novamente à cadeia de suprimentos.

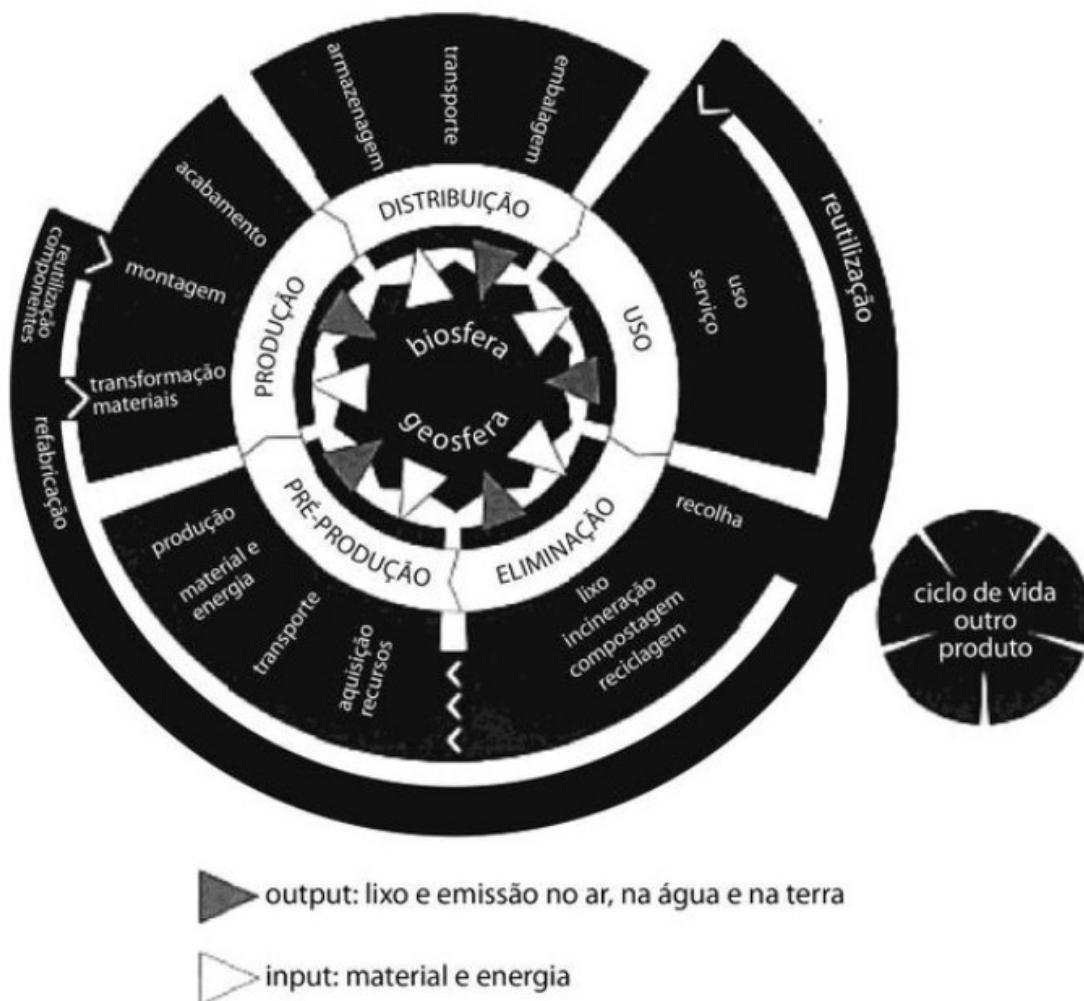
Figura 6 – Modelo de Processo de Desenvolvimento de Produto de Rozenfeld *et al.* (2006)



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

O outro modelo de DPS, como visto também na fundamentação teórica, foi conduzido por Vezzoli e Manzini (2008) onde trouxe cinco pilares que compreenderam as fases necessárias para a correta execução de um produto, porém com um foco de sustentabilidade muito mais enraizado tendo uma preocupação maior por parte dos autores na fase de fim de vida dos produtos. Aqui já conseguisse ver o conceito de Economia Circular (EC) sendo amplamente empregado. A troca entre Biosfera e Geosfera se faz nítido em seu modelo conforme pode-se verificar na figura 7.

Figura 7 – Modelo de Processo de DPS de Vezzoli e Manzini (2008)



Fonte: Vezzoli e Manzini (2008)

Finalmente, o terceiro e último modelo de DPS pesquisado foi proposto pelo Instituto Ellen MacArthur (2015) denominada de ReSOLVE que trata-se de uma sigla de abreviação em inglês das expressões *REgenerate* (regenerar), *Share* (compartilhar), *Optimise* (otimizar), *Loop* (voltar), *Virtualise* (virtualizar) e *Exchange* (substituir). Como já abordamos teoricamente o que ele representa, cada uma das seis etapas do *framework* traz uma perspectiva mais alinhada ao conceito de EC que os demais modelos pesquisados conforme evidencia-se na figura 8.

Na verdade, não trata-se de um modelo de desenvolvimento mas sim de características que um DPS necessita possuir para que haja aplicação dos conceitos de sustentabilidade e na Economia Circular (EC).

Figura 8 – Modelo de Processo de DPS ReSOLVE do Instituto Ellen MacArthur (2015)

Exemplos	
RE generate	<ul style="list-style-type: none"> Mudança para energia e materiais renováveis Recuperar, reter e restaurar a saúde dos ecossistemas Retornar recursos biológicos recuperados para a biosfera
Share	<ul style="list-style-type: none"> Compartilhar ativos (ex., carros, salas, eletrodomésticos) Reutilização/segunda mão Prolongar a vida através da manutenção, design para durabilidade, atualização, etc.
Optimise	<ul style="list-style-type: none"> Aumentar o desempenho / eficiência do produto Remover resíduos na cadeia de produção e fornecimento Alavancar o big data, automação, sensoriamento remoto e direção
Loop	<ul style="list-style-type: none"> Remanufaturar produtos ou componentes Reciclar materiais Digestão anaeróbica Extrair produtos bioquímicos de resíduos orgânicos
Virtualise	<ul style="list-style-type: none"> Livros, música, viagens, compras online, veículos autônomos, etc.
Exchange	<ul style="list-style-type: none"> Substituir material antigo por materiais avançados não renováveis Aplicar novas tecnologias (por exemplo, impressão 3D) Escolher um novo produto/serviço (por exemplo, transporte multimodal)

Fonte: Instituto Ellen MacArthur (2015)

Após esta contextualização, fica evidente que os modelos acabam sendo complementares e uma proposta de *framework* DPS considerando a EC acaba sendo importante. Ainda, apesar da evolução de um modelo para outro, nenhum deles abrange de forma concisa as questões econômicas, ambientais e sociais para o desenvolvimento de produto sustentável nas empresas.

Isto posto, foi desenvolvido um *framework* DPS considerando a EC levando em consideração os três modelos descritos até este momento neste capítulo como podemos verificar na figura 9. As práticas de DPS foram incorporadas ao modelo proposto a fim de alocá-las no *framework* DPS e coloca-las em prática no Estudo de Caso analisado. Ainda, para aplicação no estudo de caso apresentado neste trabalho, foi construído um *Check-list* abordando as práticas de DPS com perguntas fechadas conforme Tabela 6. Somente poderá ser aplicado tal prática caso todas as perguntas fechadas tenham uma afirmação como resposta.

Figura 9- Framework DPS considerando a EC

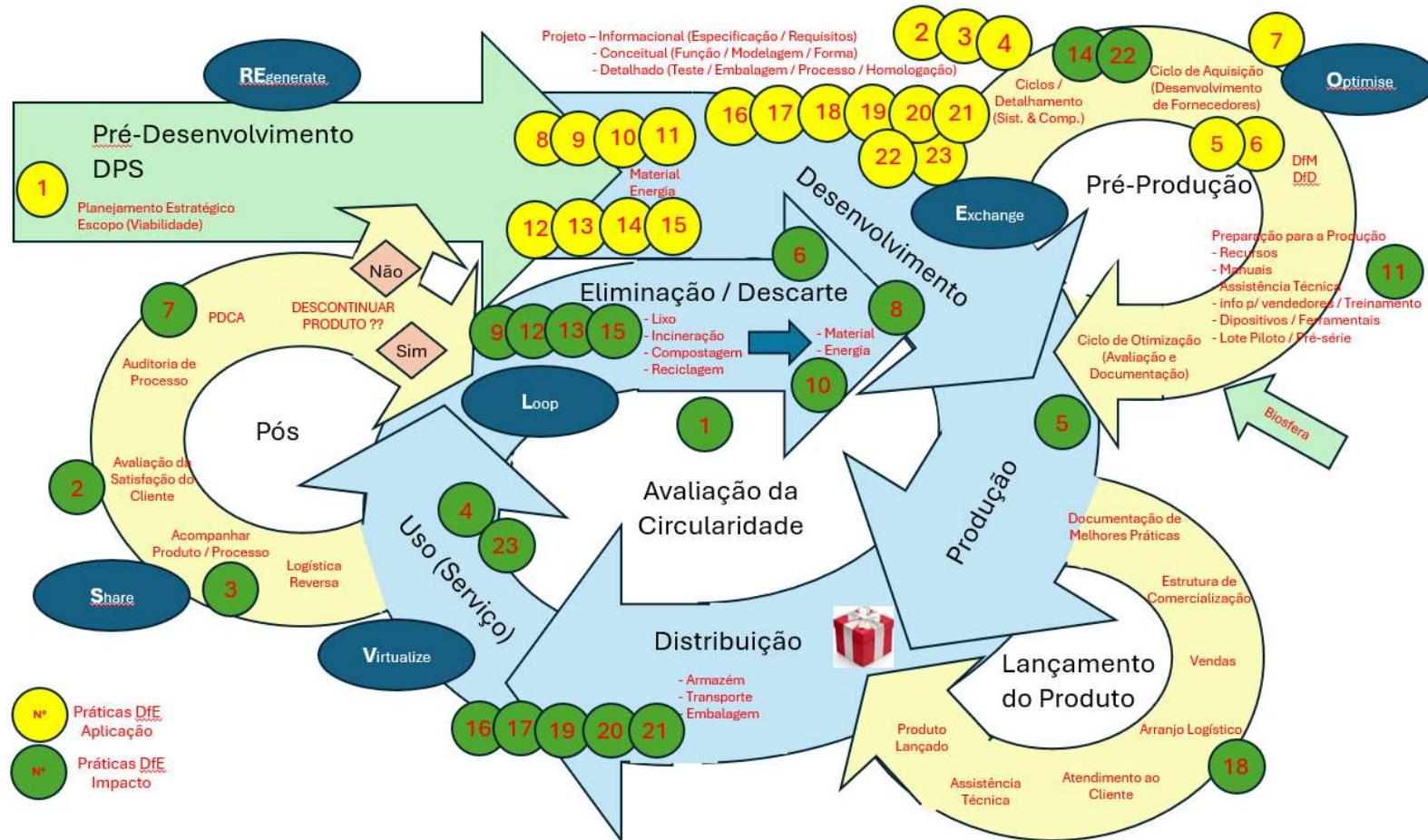


Tabela 6 - *Check-list* proposto para aplicação no estudo de caso

Etapas para o DPS	Práticas da EC aplicadas no DP	Perguntas	OK
4.4.1 Pré-Desenvolvimento	Avaliação do Ciclo de Vida - ACV.	1.1. Baseado nas análise dos desenhos, normas e especificações dos clientes e o BoM (Bill of Material – Lista de componentes do produto), existe a possibilidade de troca de material e perfil para melhorar a sustentabilidade? 1.2. Existe alguma alteração que privilegia o descarte no fim de vida do produto? 1.3. Necessidade de re-homologação do item?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar aspectos de durabilidade no projeto do produto	2.1. Caso a especificação e desenho aceite alterações, existem materiais alternativos mais duráveis que podem ser utilizados? 2.2. Após o levantamento e comparativo das características físicas e químicas dos materiais atuais e propostos, existe a possibilidade de alteração visando aumento da durabilidade do produto e o prolongamento da vida útil?	
4.4.2 Desenvolvimento	Redução dos Impactos durante a fase de uso.	3.1. Durante a fase de uso do produto, existe a necessidade de utilização de insumos adicionais para o funcionamento do produto? 3.2. Caso positivo, pode-se alterar ou reduzir tais insumos visando um melhor desempenho ambiental?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar o desenvolvimento de novos conceitos no projeto do produto.	4.1. Na aplicação do produto, existe a possibilidade de alteração do conceito de comercialização do produto (compartilhamento, aluguel, etc)? 4.2. Após o fim da vida útil, pode-se utilizar este produto para uma outra aplicação de novo produto? 7.2. Após a vida útil do produto, pode-se remanufaturar o produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a possibilidade reutilização de materiais reciclados.	8.1. Possui a listagem da USGS que define quais materiais reciclados podem ser reutilizados? 8.2. Caso positivo na questão 1 da PDPE_01, existem materiais reciclados que podem ser alterados no projeto do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados.	9.1. Baseado nos materiais dos componentes utilizados no produto, existe a possibilidade de reciclagem para este ou novo produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a possibilidade da redução do uso de energia.	10.1. Existe a possibilidade de redução de energia elétrica baseado na utilização e uso do produto? 10.2. Baseado nas etapas do processo de manufatura, existe a possibilidade de redução de energia elétrica empregada?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a diminuição do consumo de água.	11.1. Existe a possibilidade de redução da utilização de água ou derivados (fluído refrigerante) nas etapas do processo de manufatura?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a diminuição de emissão de CO ₂ para o ar.	12.1. Há emissão de CO ₂ nas etapas de produção, consumo e eliminação? 12.2. Pode-se eliminar ou minimizar a emissão de CO ₂ nestas etapas?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a não utilização de substâncias perigosas (Tóxicas) no produto.	13.1. Possui a listagem REACH que define quais materiais são considerados substâncias perigosas?? 13.2. Caso positivo na questão 1 da PDPE_01, existem materiais que possuem substâncias perigosas em sua estrutura que podem ser eliminados ou alterados no projeto do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a oportunidade de reduzir quantidade de materiais utilizados.	14.1. Baseado no BoM utilizado na manufatura do produto, existe a possibilidade de reduzir os materiais dos componentes do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a diminuição da geração de resíduos sólidos.	15.1. Dentre os materiais do produtos, existe a possibilidade de diminuir a geração de resíduos após a fase de uso do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a utilização de embalagens recicláveis.	16.1. Existe especificação de embalagem por parte do cliente / usuário final? 16.2. Caso positivo, existem materiais reciclados que podem ser alterados na embalagem do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a redução da quantidade de materiais nas embalagens.	17.1. Baseado nos materiais das embalagens, existe a possibilidade de redução destes materiais na embalagem?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a utilização de embalagens retornáveis	18.1. A embalagem é descartada quando o cliente ou o usuário final utiliza o produto? 18.2. O cliente ou o usuário final utiliza o conceito de embalagem retornável? 18.3. Existem ganhos logísticos para implantação de embalagens retornáveis?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a eficiência da embalagem do produto.	19.1. Existe a possibilidade de utilização de mais produtos por embalagem? 19.2. Redução de peso pode ser considerado na embalagem atual do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar na rotulagem dos materiais e instruções para eliminação e descarte.	20.1. No rótulo da embalagem do produto, descrevem-se os materiais que compõem o produto? 20.2. Existem indicações / instruções do descarte correto do produto após o fim da vida útil? 20.3. Existem indicações / instruções do descarte correto da embalagem do produto?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar aspectos de distribuição e transportes.	21.1 Existem empecilhos logísticos (rotas, fretes, etc) para implantação de rotas alternativas menores? 21.2. Há a possibilidade de alterações de fornecedores mais próximos à operação que o produto será manufaturado? 21.3. Outros modais de transporte podem ser considerados?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar normas e regulamentações de padrões ambientais.	22.1. Os clientes exigem que a empresa possua certificações ambientais como a ISO14000? 22.2. Caso o material for exportado, existem regulamentações geográficas diferentes da do país de origem da planta manufatureira?	
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar aspectos de segurança e saúde no projeto do produto.	23.1. No produto comercializado, existem riscos de segurança e saúde na utilização do produto? 23.2. Existem riscos de segurança e saúde no uso do produto? 23.3. Existem riscos de segurança e saúde no descarte ao final de vida útil do produto? 23.4. Na embalagem do produto existe a descrição destes possíveis riscos?	
4.4.3 Pré-Produção	Considerar o uso eficiente da tecnologia, <i>design</i> para a manufatura (DfM).	5.1. Levantado a lista de etapas do processo de manufatura, consegue-se identificar possível redução de recursos utilizados? 5.2. As etapas do processo estão mal equacionadas e podem ser reduzidas e/ou eliminadas?	
4.4.3 Pré-Produção	Considerar a desmontagem (DFD) no projeto do produto	6.1. Existe a possibilidade de alterar o design a fim de facilitar a desmontagem do produto? 6.2. Redução de componentes para desmontagem pode ser uma alternativa? 6.3. Alteração de fixadores mecânicos (pregos e parafusos) podem ser alterados por fixadores químicos (colas e adesivos)?	
4.4.3 Pré-Produção	Considera no desenvolvimento do produto a remanufatura ou reuso dos componentes utilizados no produto	7.1. Os componentes do produto, após a vida útil atingida, podem ser reutilizados no mesmo produto ou em outros novos? 7.2. Após a vida útil do produto, pode-se remanufaturar o produto?	

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

3.1 - METODOLOGIA

Neste tópico será apresentado a metodologia de pesquisa utilizada para este estudo, o qual, à partir dos conjuntos de palavras-chave empregados, desenvolveu-se uma revisão sistemática ampla conforme abordada no capítulo anterior a fim de se identificar lacunas das pesquisas já apresentadas e a evolução do tema em trabalhos científicos. Além disso, apresentou-se uma revisão bibliométrica quantitativa onde pode-se apurar de uma maneira mais visual, através de gráficos, a análise dos perfis das publicações científicas utilizadas na RSL.

Adotou-se um objetivo exploratório com abordagens qualitativas e quantitativas por meio de estudos de caso permitindo a aplicação do trabalho em uma empresa do setor automotivo utilizando a observação dos processos atuais para a coleta de dados desta pesquisa.

O método utilizado foi o de estudo de caso a fim de estudar a aplicação das práticas de DPS em uma empresa de autopeças para o setor automotivo. Finalmente, analisou-se a discussão dos resultados do caso abordado, com o intuito de tecer conclusões em relação a aplicação do *framework* DPS considerando a EC para a aplicação nas empresas do setor automotivo no Brasil.

3.2 PLANEJAMENTO DO CASO

3.2.1 Procedimento de Pesquisa

O procedimento de pesquisa deste trabalho foi composto de várias etapas à saber: (i) estabelecer os objetivos da pesquisa; (ii) verificação das lacunas de pesquisa através de revisão sistemática e bibliométrica; (iii) levantamento da empresa que se encaixa no perfil da pesquisa à ser realizada; (iv) agendar entrevista com o representante legal e/ou responsável, o qual seja capacitado a autorizar e fornecer dados para a pesquisa; (v) desenvolver fluxograma de processo de manufatura da empresa no processo específico estudado e adotar práticas de DPS que poderão gerar ganhos ambientais, econômicos e sociais; (vi) tabular as informações para a

pesquisa através das observações realizadas; (vii) realizar análise econômica e ambiental antes e depois da intervenção no processo de desenvolvimento e (viii) finalizar com a conclusão.

3.2.2 Escolha do Método à ser Utilizado

Existem diferentes autores que relatam a origem dos estudos de caso, a fim de apresentar seu significado como método de pesquisa, a literatura mundial contemporânea conta com muitas contribuições de autores com diferentes posições, sendo a mais destacada delas descritas por Yin (2010).

Para Yin (2010), o estudo de caso é um meio de organizar os dados, retendo as características únicas do objeto de pesquisa. Trata a unidade como um todo, incluindo seu desenvolvimento (individual, familiar, uma série de relações ou processos, etc.). Porém, vale lembrar que qualquer objeto é uma estrutura psicológica, pois se não estiverem relacionados ao objeto de pesquisa no contexto da pesquisa, não há restrições específicas. Portanto, o estudo de caso visa examinar as características importantes do objeto de pesquisa como uma unidade. Representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Pode incluir tanto estudos de caso único quanto de múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa.

Conforme Yin (2010) o que justifica a utilização do método de estudo de caso único é o fato de preencher as condições exigidas para testar os objetivos propostos no trabalho. Segundo Eisenhardt (1989), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa focada em compreender a dinâmica presente em cada cenário. Estudos de caso normalmente combinam métodos de coleta de dados, como arquivos, entrevistas, questionários e observações. As evidências podem ser qualitativas (por exemplo: palavras), quantitativas (por exemplo: números), ou ambas. Yin (2010) relata que desta maneira é possível criar as condições adequadas para a compreensão, a contestação ou a confirmação da teoria, sendo um elemento chave para estudos exploratórios. Gil (2008) complementa que a pesquisa exploratória desenvolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) levantamento de dados técnicos sobre o estudo pesquisado; (c) análise e apresentação de exemplos que estimulem a compreensão.

Vale lembrar ainda que, segundo Cauchick Miguel (2012), o estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real

contemporâneo por meio da análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos). Isto posto, isso corrobora com a utilização do Estudo de Caso holístico já que trata-se de caso de uma empresa localizada no Brasil com unidade de engenharia de desenvolvimento local, em uma empresa que fornece produtos ao setor automotivo.

Utilizou-se assim uma abordagem qualitativa e quantitativa para analisar e atingir os objetivos propostos na pesquisa. Segundo Martins (2008), a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos na abordagem qualitativa contribui e tem devida importância para a pesquisa à ser desenvolvida já que, na abordagem quantitativa, a mensuração é de suma importância para realização e finalização da pesquisa.

Como análise para avaliação econômica, pode-se utilizar o Retorno sobre o Investimento (ROI) e o período de ROI da taxa de retorno do produto devido à potenciais reduções de custo ou de uma nova especificação de um novo produto voltado ao mercado de sustentabilidade. A melhor maneira de avaliar se um investimento será compatível à redução, utiliza-se o lucro obtido em um período de tempo dividido pelo próprio investimento (Martins, 2008). O período ROI também pode ser utilizado para definir em quanto tempo o valor investido pela empresa em determinado processo será recuperado (Torres *et al.*, 2000).

Em relação aos objetivos, esta pesquisa pode ser caracterizada como exploratória já que é usada a fim de demonstrar critérios e compreensão (Malhotra, 2001) sendo uma forma de se familiarizar com o fenômeno pesquisado e de aumentar o conhecimento do pesquisador. É possível ainda manter uma flexibilidade no planejamento de uma pesquisa exploratória, permitindo uma abordagem do tema sob diferentes ângulos e aspectos (Prodanov e Freitas, 2013). Pode-se citar neste campo exemplos que podem ser analisados a fim de estimular a compreensão e o levantamento bibliográfico.

Como instrumento de coleta de dados, utilizou observação ao processo de desenvolvimento das empresas.

3.3 CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE CASOS

A escolha do caso a ser considerado em um estudo, segundo Yin (2010), mostra duas estratégias: (i) a replicação literal, sendo que os resultados da pesquisa serão similares para os outros diversos casos que serão estudados e sendo suficiente a realização de um ou mais casos

e (ii) a replicação teórica que assume resultados contraditórios. Neste estudo utilizou-se a estratégia de replicação literal proposta por Yin (2010) já que a recomendação é a seleção de uma ou mais empresas do mesmo ramo a fim de confirmar os objetivos. No caso específico desta pesquisa, utilizaremos uma empresa do setor automotivo localizada no Brasil.

Ainda, existe uma lista de questões que ajudam a escolha de critérios para a seleção de casos (Miles e Huberman, 1994): (i) a amostra escolhida deve ser relevante para a questão da pesquisa; (ii) o identificado na empresa deve ser encontrado na amostra; (iii) realizar comparação entre o casos escolhido e se pode ser generalizado; (iv) consonância do exposto no caso com a vida real e (v) viabilidade no caso escolhido referente a custo, tempo e acesso às informações. Isto posto, foi preponderante para a escolha do caso os fatos observados pelo autor, desde a relevância da amostra, possibilidade de comparação dos casos se necessário, consonância do estudo com a vida real e a viabilidade quanto ao custo e tempo.

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Segundo Yin (2010) a análise dos dados representa a categorização e relacionamento das evidências de acordo com a proposta da proposição em estudo. Dessa forma é proposto por Yin (2010) duas estratégias de forma geral e quatro específicos modelos para conduzir uma análise de estudo. A primeira estratégia tem por base as proposições teóricas que originaram o estudo de caso. Já a segunda estratégia permite que o estudo seja estruturado de forma descritiva, permitindo maior nível de entendimento aos envolvidos.

Ainda, segundo Yin (2010), os quatro modelos específicos de análise de estudo são: (i) adequação ao padrão já que esse modelo tem por objetivo comparar o modelo proposto com o que foi encontrado no estudo; (ii) construção da explanação que tem por objetivo analisar os dados do estudo de caso a fim de construir uma explicação a respeito do caso; (iii) análise de séries temporais é a condução análoga realizada por meio de experimentos e trabalhos quase experimentais com observações realizadas ao longo do tempo e (iv) modelos lógicos que é um encadeamento de acontecimentos ou eventos que combinam a análise de longo período e adequação ao padrão.

Diante das estratégias gerais e modelos específicos apresentados por Yin (2010), o estudo utilizou como base a proposição que deu origem à pesquisa. E em relação ao estudo

específico utilizou-se adaptação ao modelo padrão objetivando comparar um padrão ao outro e se houver semelhanças nos resultados, poderão ajudar a reforçar a validade do estudo.

Para análise e discussão do caso foram adotadas abordagens qualitativa e quantitativa. Para o cálculo de análise econômica foi aplicado no estudos de caso o retorno sobre o investimento (ROI) e o período ROI de retorno sobre o investimento a fim de finalizar a viabilidade econômica (Miles e Huberman, 1994; Oliveira Neto *et al.*, 2014).

3.5 CRIAÇÃO DO *FRAMEWORK DPS* CONSIDERANDO A EC E *CHECK-LIST*

Foram levantados os modelos de desenvolvimento mais utilizados pelas indústrias e pela Academia: Rozenfeld et al. (2006), Vezzoli e Manzini (2008) e o framework ReSOLVE (Ellen MacArthur, 2018). Baseado nestes cronogramas, foram listados todas as etapas dos modelos e realizada a análise dos pontos que eram sobrepostos por cada um deles. Foi verificado vários pontos de convergência dos modelos, principalmente nas etapas de Pré-Desenvolvimento e Desenvolvimento, o que refletiu diretamente no framework DPS considerando a EC proposto neste trabalho.

Foi verificado também que em algumas etapas do processo de desenvolvimento haviam loops intermediários entre os processos de Desenvolvimento e Produção (aqui relacionado como Pré-Produção), entre os processos de Produção e Distribuição (aqui relacionado como Lançamento do Produto) e entre os processos de Uso e Eliminação (relacionado como o Pós). Estes loops tem como finalidade detalhar de forma mais clara as tarefas necessárias para o desenvolvimento de produto sustentável considerando a circularidade.

Para o check-list foram utilizadas todas as Práticas de DPS levantadas durante a Revisão Sistemática da Literatura e, em alinhamento às etapas de desenvolvimento, perguntas fechadas foram criadas a fim de servir como um guia onde nada seria esquecido ou posto como irrelevante ao processo. Cada pergunta tem como objetivo analisar a maturidade das empresas que irão aplicar o framework DPS considerando a EC fazendo com que tenha-se um mínimo de preparo antes da aplicação na prática.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

4.1 ESTUDO DE CASO

A Metodologia aplicada foi por meio de Estudo de Caso em uma empresa que possui manufatura localizada no Brasil e é voltada quase em sua totalidade para o setor automotivo. No caso específico, a empresa é sistemista e destina-se ao atendimento de montadoras globais e de empresas de implementos rodoviários. Atualmente existem em torno de oito montadoras de veículos comerciais médios / pesados e mais de uma centena de empresas de implementos rodoviários localizadas no Brasil.

O fato interessante neste ponto é que das oito montadoras localizadas no Brasil, apenas uma pode ser considerada não global. As demais são empresas globais multinacionais que possuem suas matrizes na Europa e apenas a metade possui um departamento de Engenharia de Desenvolvimento no Brasil. Já para montadores de implementos rodoviários, o perfil das empresas é totalmente o oposto já que, em sua totalidade, são empresas nacionais com suas matrizes presentes no Brasil. Esta curiosidade se deve ao grande percentual da matéria-prima ser de aço em barras ou rolos e não possuem a uma grande necessidade de tecnologia embarcada em seus produtos.

4.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Para este caso, a maioria das informações foram levantadas juntos a uma empresa do ramo de sistemas de freios veiculares comerciais aplicadas em caminhões e ônibus. Existe ainda uma grande limitação da obtenção de informações financeiras desta empresa pois o Departamento Financeiro e Controladoria possuem diretrizes e políticas muito rígidas de confidencialidade. Ainda, a pedido da própria empresa, utilizamos um nome fictício para a empresa aqui denominada como ABC Servo a fim de não possuir relação com outras empresas onde pessoas do ramo deste produto podem sugerir tal empresa.

A empresa ABC Servo é uma multinacional de origem Norueguesa com mais de 80 anos de fundação e é especializada na produção de sistemas de embreagem para veiculares comerciais especialmente para caminhões, ônibus e implementos rodoviários como caminhões

e ônibus. Possui mais de 5.000 colaboradores ao redor do mundo e conta com outras linha de produtos para veículos pesados como conexões de freio, kits de reparo e demais produtos. Sua matriz está situada na cidade de Zurique na Suiça, e possui unidades presentes em mais de 20 Países. Na América Latina possui cerca de 150 colaboradores sendo que 100 deles em sua operação de servos de embreagem que está situada no Estado de São Paulo. Como existem poucas empresas neste setor localizadas no Brasil, limitou-se a informação da cidade onde está situada a empresa. Possui capital aberto na Bolsa de Valores de Oslo. A maioria dos produtos manufaturados são destinados ao Mercado Automotivo pesado (aproximadamente 80%) sendo que os seus maiores clientes sejam os montadores de veículos comerciais e as empresas de implementos rodoviários como carretas, trailers e demais produtos relacionados à transporte de cargas.

4.3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E PROCESSO DE PRODUÇÃO

Para o Estudo de Caso, analisou-se um produto denominado Servo de Embreagem que é um componente que aumenta a força aplicada pelo pedal da embreagem, permitindo que o motorista precise de menos esforço para mudar de marcha ou frear.

O servo de embreagem tem como finalidade converter a força mecânica dos pés do condutor em pressão hidráulica que atua no servo de embreagem, que está montado fora da caixa de câmbio e ligado à alavanca do sistema. Isto posto, o servo de embreagem é um componente hidropneumático que é usado principalmente em veículos pesados, como caminhões e ônibus que possuem componentes grandes e pesados destinados ao sistema de transmissão do veículo comercial e, em veículos pesados, o servo de embreagem reduz o esforço do pedal de 28Kgf para 10Kgf.

Na figura 10 podemos verificar o tipo de produto tratado neste estudo de caso. Fica evidente a predominância da carcaça em alumínio onde foi fundida internamente no processo de fundição da empresa ABC Servo. Após a fundição, segue-se o processo de usinagem da carcaça em alumínio, injeção de plástico de alguns componentes de maior relevância e montagem dos demais componentes inerentes ao produto. Todos estes processos de fundição, usinagem da carcaça de alumínio, injeção de peças plásticas e montagem dos componentes são realizados internamente na empresa.

Figura 10 – Servo Embreagem para veículos comerciais

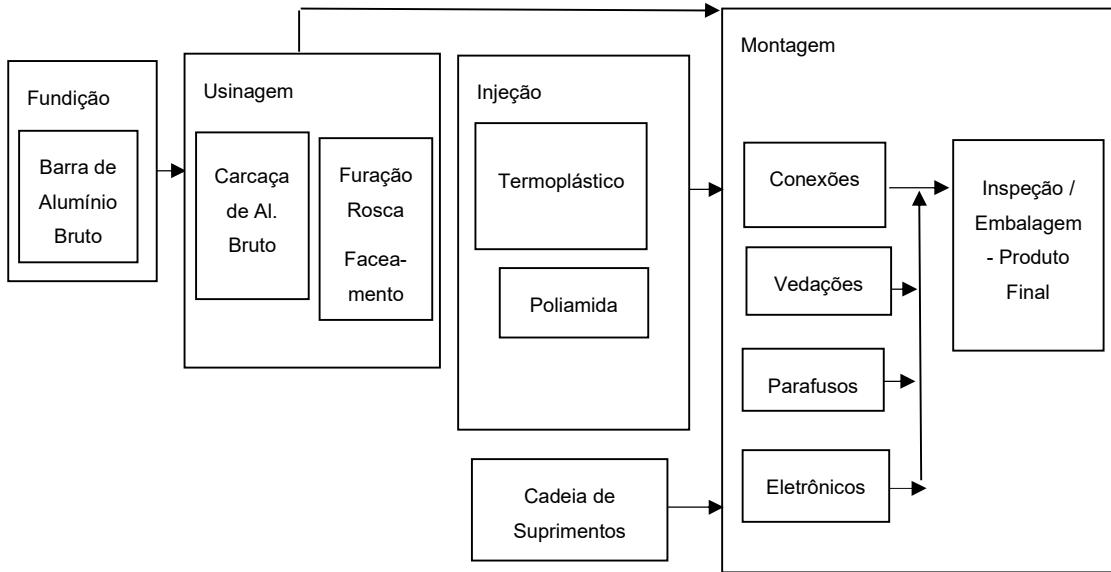


No que tange à componentes, parte importante do custo do produto é relacionado às conexões pneumáticas em latão que são responsáveis pela integração dos tubos de PA (Poliamida) que fazem a condução e alimentação do sistema. Estas conexões estão expressas na figura do componente montado na figura 10 com uma coloração diferenciada já que são confeccionadas em latão, possuindo uma característica de tom dourada. Fica evidenciado também a necessidade de usinagem das roscas nos pórticos já que estas conexões possuem rosas no sistema métrico tipo “M” que é necessária para a montagem na carcaça de alumínio.

O processo de fabricação de um sistema de servo embreagem não varia muito de empresa para empresa já que diversas delas que trabalham neste ramo não possuem muita diferenciação tecnológica internamente, onde os gastos de implementação de novos conceitos ainda são muito elevados fazendo com que adquiram vários componentes na cadeia de suprimentos de empresas que trabalham com este tipo de produto. São os casos das conexões, vedações, parafusos de fixação, e demais componentes presentes no produto completo.

De uma forma resumida, abaixo na Figura 11 consegue-se verificar o processo de fabricação de um sistema de freio pneumático.

Figura 11 - Fluxograma do processo de manufatura de sistema de Servo Embreagem



• Fundição: trata-se do processo de transformação do Alumínio. No processo de matriz metálica, o metal é injetado com grande pressão, a fim de preencher o molde em sua totalidade e, assim, reproduzir com precisão e riqueza de detalhes. Por essa razão, esse é um processo de fundição muito usado no setor automotivo, principalmente em peças que possuem detalhes significativos e demandam uma cópia de alta precisão. As principais vantagens na fundição de matriz metálica estão no excelente acabamento, precisão de detalhes e qualidade superficial, além de ser muito útil para grandes volumes de peças. Já as desvantagens estão relacionadas ao alto custo inicial e a necessidade de produzir uma matriz de aço para injetar.;

• Usinagem: trata-se da etapa do processo que consiste em um processo mecânico de desgaste da matéria bruta (ou matéria-prima) que dá origem a uma peça de formato específico. A porção de material retirada por esse processo é chamado de cavaco. Nesta etapa também se faz a furação que é o processo em que uma broca de dois gumes gera uma cavidade cilíndrica na peça. Este processo tem uma variação, conhecido como alargamento de furo, no qual a broca responsável pela furação também pode ampliar o diâmetro do furo. Após este processo de usinagem, finalmente é executada a usinagem de rosca nos pórticos. A usinagem é uma alternativa a outros tipos de processos de produção, como a moldagem e a fundição.

- Injeção: processo de moldagem ou conformação da massa, que é feita por meio de injeção do material contra uma matriz previamente usinada. O material é empurrado contra a matriz (molde) através de uma rosca sem fim e o equipamento utilizado é a Injetora;
- Montagem: processo que, à partir de todas as peças e componentes estão disponíveis na linha de produção, se faz a montagem, aperto de roscas e parafusos, regulagens finais dos produtos e, em alguns casos, a embalagem final como sendo a última etapa da linha de montagem;
- Inspecionar e Embalar: Este processo varia de acordo com cada fabricante seguindo os critérios de aceitação dos clientes finais e é realizado manualmente, sendo muito valorizado no processo fabril e avaliado na forma de controle de qualidade;

4.4 APLICAÇÃO DO FRAMEWORK DPS CONSIDERANDO EC

Para a aplicação do *framework* DPS considerando a EC, a análise das práticas de DPS ocorreu por ordem numérica já que representa as etapas à serem percorridas desde o *design* do produto até o lançamento. Fica visível no framework que as práticas de DPS se localizam no início do processo de Pré-Desenvolvimento até a Pré-Produção. Isto caracteriza e evidencia que as ações necessárias para a aplicação das práticas de DPS devem ser obrigatoriamente discutidas no início do processo de Pré-desenvolvimento, Desenvolvimento e Pré-Produção.

Quando aplica-se o framework DPS considerando a EC neste trabalho na figura 9 apresentado no Capítulo 2, os conceitos predominantes destacados neste tipo de alteração já na fase de *design* do produto são muitos, alinhando as práticas de DPS.

O primeiro passo antes da análise do *framework* é a resposta do *Check-list* a fim de identificar se o produto e a empresa conseguem identificar as práticas de DPS e se podem ser colocadas em na prática. Caso uma prática tenha as respostas caracterizadas como positivas constata-se que a prática de DPS pode ser aplicada e mensurada, podendo ser compartilhados e evidenciados seus ganhos econômicos, ambientais e sociais. Após a análise da empresa, do produto e do processo, teve-se o seguinte *check-list* conforme tabela 7.

Tabela 7 – Check-list preenchido para o Estudo de Caso

Etapas para o DPS	Práticas da EC aplicadas no DP	Perguntas	OK
4.4.1 Pré-Desenvolvimento	Avaliação do Ciclo de Vida - ACV.	1.1. Baseado nas análise dos desenhos, normas e especificações dos clientes e o BoM (Bill of Material – Lista de componentes do produto), existe a possibilidade de troca de material e perfil para melhorar a sustentabilidade?	✓
		1.2. Existe alguma alteração que privilegia o descarte no fim de vida do produto?	✓
		1.3. Necessidade de re-homologação do item?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar aspectos de durabilidade no projeto do produto	2.1. Caso a especificação e desenho aceite alterações, existem materiais alternativos mais duráveis que podem ser utilizados?	✓
		2.2. Após o levantamento e comparativo das características físicas e químicas dos materiais atuais e propostos, existe a possibilidade de alteração visando aumento da durabilidade do produto e o prolongamento da vida útil?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Redução dos Impactos durante a fase de uso.	3.1. Durante a fase de uso do produto, existe a necessidade de utilização de insumos adicionais para o funcionamento do produto?	✓
		3.2. Caso positivo, pode-se alterar ou reduzir tais insumos visando um melhor desempenho ambiental?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar o desenvolvimento de novos conceitos no projeto do produto.	4.1. Na aplicação do produto, existe a possibilidade de alteração do conceito de comercialização do produto (compartilhamento, aluguel, etc)?	✓
		4.2. Após o fim da vida útil, pode-se utilizar este produto para uma outra aplicação de novo produto?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a possibilidade de reutilização de materiais reciclados.	8.1. Possui a listagem da USGS que define quais materiais reciclados podem ser reutilizados?	✓
		8.2. Caso positivo na questão 1 da PDDE_01, existem materiais reciclados que podem ser alterados no projeto do produto?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados.	9.1. Baseado nos materiais dos componentes utilizados no produto, existe a possibilidade de reciclagem para este ou novo produto?	✓
		9.2. Caso positivo na questão 1 da PDDE_01, existem materiais que podem ser alterados no projeto do produto?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a possibilidade da redução do uso de energia.	10.1. Existe a possibilidade de redução de energia elétrica baseado na utilização e uso do produto?	✓
		10.2. Baseado nas etapas do processo de manufatura, existe a possibilidade de redução de energia elétrica empregada?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a diminuição do consumo de água.	11.1. Existe a possibilidade de redução da utilização de água ou derivados (fluído refrigerante) nas etapas do processo de manufatura?	✓
		12.1. Há emissão de CO ₂ nas etapas de produção, consumo e eliminação?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a diminuição de emissão de CO ₂ para o ar.	12.2. Pode-se eliminar ou minimizar a emissão de CO ₂ nestas etapas?	✓
		13.1. Possui a listagem REACH que define quais materiais são considerados substâncias perigosas??	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a não utilização de substâncias perigosas (Tóxicas) no produto.	13.2. Caso positivo na questão 1 da PDDE_01, existem materiais que possuem substâncias perigosas em sua estrutura que podem ser eliminados ou alterados no projeto do produto?	✓
		14.1. Baseado no BoM utilizado na manufatura do produto, existe a possibilidade de reduzir os materiais dos componentes do produto?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a diminuição da geração de resíduos sólidos.	15.1. Dentre os materiais do produtos, existe a possibilidade de diminuir a geração de resíduos após a fase de uso do produto?	✓
		16.1. Existe especificação de embalagem por parte do cliente / usuário final?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a utilização de embalagens recicláveis.	16.2. Caso positivo, existem materiais reciclados que podem ser alterados na embalagem do produto?	✓
		17.1. Baseado nos materiais das embalagens, existe a possibilidade de redução destes materiais na embalagem?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar no projeto do produto a utilização de embalagens retornáveis	18.1. A embalagem é descartada quando o cliente ou o usuário final utiliza o produto?	✓
		18.2. O cliente ou o usuário final utiliza o conceito de embalagem retornável?	✓
		18.3. Existem ganhos logísticos para implantação de embalagens retornáveis?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar a eficiência da embalagem do produto.	19.1. Existe a possibilidade de utilização de mais produtos por embalagem?	✓
		19.2. Redução de peso pode ser considerado na embalagem atual do produto?	✓

4.4.2 Desenvolvimento	Considerar na rotulagem dos materiais e instruções para eliminação e descarte.	20.1. No rótulo da embalagem do produto, descrevem-se os materiais que compõem o produto?	✓
		20.2. Existem indicações / instruções do descarte correto do produto após o fim da vida útil?	✓
		20.3. Existem indicações / instruções do descarte correto da embalagem do produto?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar aspectos de distribuição e transportes.	21.1 Existem empecilhos logísticos (rotas, fretes, etc) para implantação de rotas alternativas menores?	✓
		21.2. Há a possibilidade de alterações de fornecedores mais próximos à operação que o produto será manufaturado?	✓
		21.3. Outros modais de transporte podem ser considerados?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar normas e regulamentações de padrões ambientais.	22.1. Os clientes exigem que a empresa possua certificações ambientais como a ISO14000?	✓
		22.2. Caso o material for exportado, existem regulamentações geográficas diferentes da do país de origem da planta manufatureira?	✓
4.4.2 Desenvolvimento	Considerar aspectos de segurança e saúde no projeto do produto.	23.1. No produto comercializado, existem riscos de segurança e saúde na utilização do produto?	✓
		23.2. Existem riscos de segurança e saúde no uso do produto?	✓
		23.3. Existem riscos de segurança e saúde no descarte ao final de vida útil do produto?	✓
		23.4. Na embalagem do produto existe a descrição destes possíveis riscos?	✓
4.4.3 Pré-Produção	Considerar o uso eficiente da tecnologia, <i>design</i> para a manufatura (<i>DfM</i>).	5.1. Levantado a lista de etapas do processo de manufatura, consegue-se identificar possível redução de recursos utilizados?	✓
		5.2. As etapas do processo estão mal equacionadas e podem ser reduzidas e/ou eliminadas?	✓
		6.1. Existe a possibilidade de alterar o design a fim de facilitar a desmontagem do produto?	✓
4.4.3 Pré-Produção	Considerar a desmontagem (<i>DFD</i>) no projeto do produto	6.2. Redução de componentes para desmontagem pode ser uma alternativa?	✓
		6.3. Alteração de fixadores mecânicos (pregos e parafusos) podem ser alterados por fixadores químicos (colas e adesivos)?	✓
		7.1. Os componentes do produto, após a vida útil atingida, podem ser reutilizados no mesmo produto ou em outros novos?	✓
4.4.3 Pré-Produção	Considera no desenvolvimento do produto a remanufatura ou reuso dos componentes utilizados no produto	7.2. Após a vida útil do produto, pode-se remanufaturar o produto?	✓

4.4.1 Etapa de Pré-Desenvolvimento do DPS considerando a EC

Nesta seção serão abordadas as PDPS's relacionadas a etapa de Pré-Desenvolvimento. Excepcionalmente apenas uma PDPS aparece nesta etapa que é a Avaliação do Ciclo de Vida do Produto.

- **Avaliação do Ciclo de Vida - ACV**

A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV como sendo a primeira prática de DPS (PDPS_01) utilizada consiste na introdução de uma abordagem dinâmica da ACV no projeto para o meio ambiente considerando critérios associados à avaliação do impacto ambiental e etapas do processo de desenvolvimento e manufatura apoiando a tomada de decisão. Isto se faz necessário para a pesquisa de uma nova proposta de peça à ser utilizada para a alteração do produto vigente.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que considera todos os impactos ambientais causados por um produto ou serviço, desde a extração da matéria-prima até a disposição final (Chehebe, 1997). Todo produto, não importa de que material seja feito, madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento, provoca um impacto no meio ambiente, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas que consome ou devido ao seu uso e disposição final.

A ACV é dividida em quatro fases principais:

- Definição do objetivo e escopo:

No objetivo determina-se o propósito da ACV, como entender os impactos ambientais de um produto ou comparar alternativas. Já no escopo define-se o sistema a ser analisado, os limites do estudo (por exemplo, ciclo de vida completo ou apenas uma parte dele), a abordagem metodológica e as unidades funcionais.

- Inventário do ciclo de vida (ICV):

Nesta fase, coletam-se dados sobre todos os fluxos de entrada e saída do sistema (materiais, energia, emissões, resíduos). A ideia é mapear todos os recursos utilizados e os impactos ambientais gerados durante o ciclo de vida do produto ou serviço.

Exemplos de dados incluem consumo de energia, água, emissões de CO₂, materiais utilizados, entre outros.

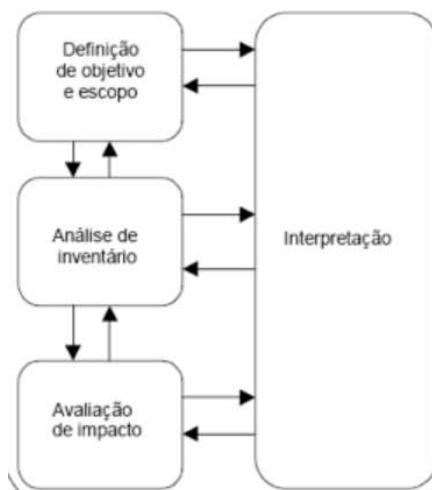
- Avaliação do impacto ambiental:

Com os dados do inventário, é realizada a avaliação dos impactos ambientais, agrupando e caracterizando os efeitos de cada fluxo de entrada e saída, como aquecimento global, acidificação, toxicidade, etc. O objetivo é compreender como cada fase do ciclo de vida contribui para os impactos ambientais, ajudando a identificar pontos críticos e áreas de melhoria.

- Interpretação:

A interpretação é a fase final, onde são analisados os resultados das etapas anteriores e identificados os pontos críticos, com base no objetivo da análise. A interpretação visa fornecer recomendações ou decisões para melhorar o desempenho ambiental do sistema analisado, levando em consideração a robustez dos dados e as limitações do estudo. O diagrama da ACV pode ser visualizado na figura 12.

Figura 12 – Fases da ACV



Fonte: Chehebe (1997)

No objetivo e escopo deste estudo para a ACV, a intenção é a redução do descarte em Kg e análise do emprego das demais PDPS's, como redução de peso, opções de troca de material, eliminação de substâncias tóxicas,

O descarte na vida final do produto é um problema que também caracteriza a análise do ciclo de vida deste produto. Analisando o tópico 1.1 do check-list, o desenho do produto foi levantado juntamente com a lista BoM (Bill of Material) na tabela 8 e os componentes de maior impacto ambiental no descarte em fim de vida útil foram identificados, sendo definidos como possibilidades de sofrerem alterações visando maior circularidade. A figura 13 consegue demonstrar a quantidade de itens necessários para a montagem total do Servo Embreagem e a identificação dos componentes que serão analisados conforme item 1.2 do check-list.

Consegue-se assim uma visão interna dos componentes e estão numerados para uma melhor análise e visualização. Durante o processo de circularidade, consegue-se tratar isoladamente dos componentes com maior necessidade de análise sustentável.

Figura 13 – Servo embreagem em corte com numeração dos componentes.

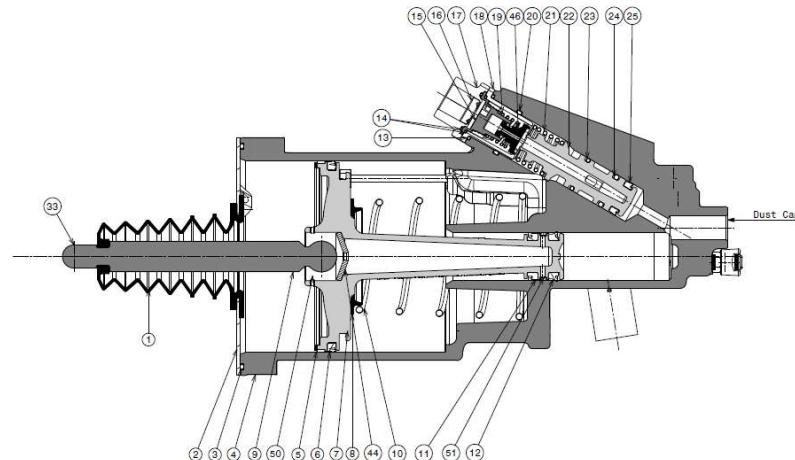


Tabela 8 – BoM do Servo Embreagem

Nível	Nº no desenho	Descrição	Material	Qtd. Por produto
0	-	SERVO DE EMBREAGEM		
.1	1	PROTETOR DE BORRACHA	Borracha	1
.1	2	DISCO DIN125-4.3 ZN	Aço	1
.1	3	O-RING HNBR70	Borracha	1
.1	4	CARCAÇA DE ALUMÍNIO	Alumínio	1
.1	5	O-RING HNBR70	Borracha	1
.1	6	VEDAÇĀO 100*90*4.3	Borracha	1
.1	7	PISTĀO Ø100-Ø25-L85	Plástico	1
.1	8	ASSENTO DA MOLA GUIA	Plástico	1
.1	9	HASTE	Aço	1
.1	10	MOLA GUIA DO SPV	Aço	1
.1	11	VEDAÇĀO GPN 330 M12X1.5	Borracha	1
.1	12	VEDAÇĀO 25*17*5.5	Borracha	1
.1	13	O-ring 21.3x2.4 EPDM 70ShA	Borracha	1
.1	14	O-ring 6x3 HNBR 70 ShA	Borracha	1
.1	15	ASSENTO DA MOLA	Plástico	1
.1	16	MANCAL SPV Ø12-17,5	Plástico	1
.1	17	TAMPA	Aço	1

.1	18	PARAFUSO M6*16 DIN912-8.8	Aço	2
.1	19	PRATO DA MOLA	Plástico	1
.1	20	O-ring 21.3x2.4 EPDM 70ShA	Borracha	1
.1	21	MOLA DE RETORNO	Aço	1
.1	22	VÁLVULA DO PISTÃO	Plástico	1
.1	23	O-RING 112*2.62 NBR70	Borracha	1
.1	24	O-RING 19.1*1.6 NBR70	Borracha	1
.1	25	VEDAÇÃO 25x17x5.5 HNBR80182	Borracha	1
.1	33	HASTE Ø16	aço	1
.1	44	ASSENTO DA HASTE	Plástico	1
.1	46	MOLA DE RETORNO	Aço	1
.1	50	ENCAIXE DA HASTE	Plástico	1
.1	51	O-RING 12.85*2.96HNBR	Borracha	1

Para o inventário do ciclo de vida (ICV), abordou-se a etapa de montagem do Servo Embreagem onde demonstra-se o impacto em Kg de cada família de produto. Geralmente a divisão de cada família de produto é realizada pelo material que os componentes são manufaturados onde consegue-se identificar o impacto de cada material em relação ao produto final conforme visto na tabela 9.

Tabela 9 – Balanceamento de Massa – Processo de Montagem

Componentes	Cálculo unitário peças / produto			Cálculo para 31.000 peças / ano		
	Qtd.por produto	Peso por componente Kg	Peso total por componente kg	Massa na entrada do processo em Kg	Acréscimo de massa no processo em Kg	Massa na saída do processo em Kg
Alumínio	1	1,175	1,175	36.425	36.425	36.425
Gaxetas (6,11,12, 25)	1	0,225	0,225	36.425	6.975	43.400
Orings	8	0,002	0,016	43.400	496	43.896
Conexões em latão	2	0,052	0,104	43.896	3.224	47.120
Parafusos	2	0,035	0,070	47.120	2.170	49.290
Haste	1	0,134	0,134	49.290	4.154	53.444
Demais Componentes	1	0,026	0,026	53.444	806	54.250
Produto Final Kg	1		1,7500		54.250	54.250

Na avaliação do impacto e interpretação da ACV, alguns componentes foram identificados como de alto impacto ao descarte de fim de vida útil. É o caso das vedações

elastoméricas confeccionadas em borracha e é um dos materiais que não possui o tempo de decomposição no meio ambiente totalmente conhecido, fazendo com que o problema de descarte deste tipo de material seja preocupante e somente seja realizado em aterros sanitários. A reciclagem da borracha ainda está muito limitada a Trituração do resíduo e a utilização em forma de pó de borracha reciclada como carga adicional ao elastômero. Isto posto, a análise para troca deste material pode ser considerada neste Estudo de Caso. Os itens de vedações e guarda-pó do Servo Embreagem são confeccionados neste material e estão descritos nos números 1, 3, 6, 11, 12, 13, 14 (2 vezes), 20, 23, 24 e 25 do BoM.

No caso específico das vedações denominadas de *o' rings* ou anéis de vedação, existe uma limitação técnica de alteração deste tipo de componente por não possuírem um material substituto que tenha a mesma funcionalidade. Porém a coifa ou guarda-pó (item 1) e as gaxetas de vedação (itens 6, 11, 12 e 25) tanto das câmaras hidráulica e pneumática podem ser consideradas como possíveis materiais à serem alterados. Já existem alguns termoplásticos de engenharia que podem ser utilizados no lugar da borracha e que possuem características de recicabilidade maiores. Estas vedações serão abordadas na PDPS_02.

O item 4 descrito no desenho é o de maior impacto já que é de alumínio e possui a maior massa e peso em relação aos demais componentes. Trata-se da carcaça do Servo Embreagem onde todos os componentes são montados tomando como base este item. Este componente, por ser estrutural, pode ser reutilizado quando sua vida útil for finalizada. Atualmente ele é descartado.

Outros itens possuem destaque no BoM e no desenho devido à sua massa e peso porém possuem limitações técnicas para alteração devido a sua aplicabilidade no funcionamento correto do Servo Embreagem. São os casos da haste (item 9), das molas de recuo (itens 10 e 21) e dos êmbolos de serviço (itens 7 e 22) que são confeccionados em aço.

Todas as alterações propostas devem ser submetidas ao cliente final conforme item 1.3 do check-list já que o sistema de qualidade da empresa e dos requisitos específicos dos clientes sugere que qualquer alteração deve ser comunicada, testada e homologada. Neste estudo de caso, o cliente está totalmente aberto à receber propostas relacionadas à melhoria na sustentabilidade e na redução de custo.

Para avaliar os ganhos da PDPS_01, toma-se como base o impacto do descarte total do produto quando este não pode ser mais utilizado ou reparado. Na figura 14 pode-se visualizar

Servos Embreagens em fim de vida útil e que serão descartados por não terem mais valia de funcionamento na reposição bem como, devido ao desgaste excessivo, não exista a possibilidade apenas da troca do reparo. Na tabela 10 vê-se o descarte que observado na empresa.

Figura 14 – Descarte de Servo Embreagem em fim de vida útil



Tabela 10 – Servos embreagem descartados em fim de vida

Produto	Peso Bruto	resíduo	descarte
Novo	54.250	0	54.250
Remanufaturado	54.250	37.975	16.275
Descartado	16.275	8.138	8.138
Total	54.250	46.113	8.138

4.4.2 Etapa Desenvolvimento do DPS considerando a EC

Nesta seção serão abordadas as PDPS's relacionadas a etapa de Desenvolvimento. Nesta etapa é aonde se localiza o maior número de PDPS's da pesquisa podendo ser visualizada no framework DPS considerando a EC. A consideração dos aspectos de durabilidade no projeto do produto, a redução dos Impactos durante a fase de uso, a consideração do desenvolvimento de novos conceitos no projeto do produto, a possibilidade de reutilização de materiais reciclados e a reciclagem dos materiais atuais, redução de energia, água e emissões de CO₂, eliminação de substâncias tóxicas, redução da quantidade e resíduos sólidos de materiais utilizados,

embalagens, rotulagem, distribuição, normas e regulamentações e segurança e saúde no projeto do produto.

- **Durabilidade do Produto**

Após a ACV, seguiu-se a PDPS_02 relacionada aos aspectos de durabilidade no projeto do produto que considera a durabilidade, com o objetivo de avaliar o tempo de vida útil do produto / componentes, especialmente para componentes com aspecto ambiental significativo. Em resposta ao item 2.1 do check-list, os componentes elastoméricos descritos no BoM como 6, 11, 12 e 25 são confeccionados em EPDM (Etileno Propileno) e possuem como material alternativo o termoplástico em TPE-Uretano conforme figura 15. Por ser um termoplástico, ele possui características de reutilização como a reciclagem além de reduzir o peso do componente.

Figura 15 – Gaxetas Termoplásticas



O termoplástico também é mais durável que o item em borracha quando se analisa critérios de durabilidade. Segundo questionamento com o departamento pós-venda da empresa, existe a possibilidade de aquisição de kits de reparo do componente onde 85% dos componentes inseridos no kit são as vedações elastoméricas. Além disto, a periodicidade de manutenção de um Servo Embreagem atualmente é de 5 anos.

Tabela 11 – Comparativo de propriedades do EPDM X TPE-U

Siglas	EPDM	TPU (também denominado TPE-U)
Nomes comerciais	Etileno	Elastollan® (Bayer)
Denominação química	Borracha de etileno-propileno-dieno	TPE-Uretano
Propriedades mecânicas		
Dureza [shore A/D]	30 – 90A	60A - 80D
Resistência ao desgaste	boa	Muito boa
Resistência à tração [Mpa]	10-20	-
Propriedades físicas		
Espessura [g/cm³]	1,15	1,1 - 1,4
Temperaturas de serviço		
Faixa de temperatura em curto tempo [°C]	-40 - 150	-50 - 120
Faixa de temperatura contínua [°C]	-30 - 120	-40 - 90
Outras características		
Comportamento de queima de acordo com UL 94	queima	queima

Na tabela 11 é demonstrado as diferenças das propriedades físicas e mecânicas relacionados ao material atual em elastômero EPDM conforme figura 16 e ao novo material proposto em TPE-U. Como pode-se verificar no comparativo, a dureza em shore A e D são maiores no novo material proposto assim como a resistência ao desgaste, o que faz com que a

alteração seja viável, respondendo assim a pergunta 1.2 do check-list referente à existência de materiais mais duráveis que possam ser utilizados como alternativa.

Figura 16 – Gaxetas de Borracha montadas anteriormente



Mesmo com o comparativo das propriedades físicas e químicas entre o termoplástico e do novo termoplástico de engenharia, existe a necessidade de testes específicos de resistência em bancada. A quantidade de ciclos depende de cada cliente e das normas que a empresa necessita atender. Neste caso, a ciclagem foi de 250.000 acionamentos à 4 BAR de pressão conforme demonstrado na figura 17.

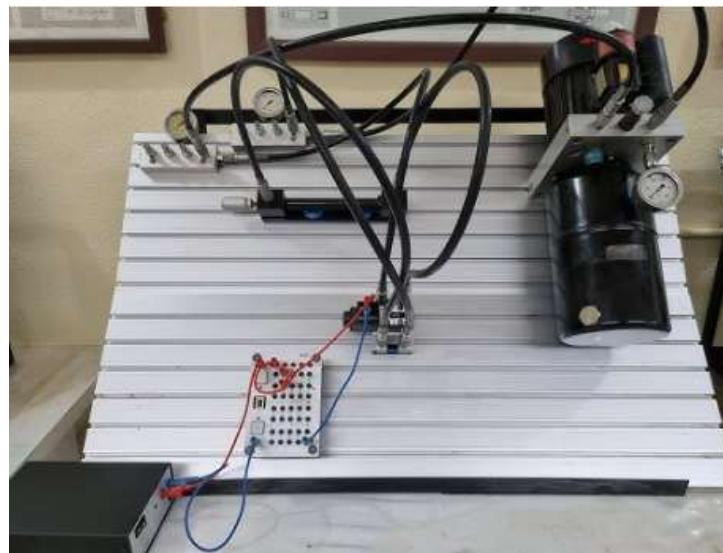
São montadas uma peça por componente montada no produto (4 peças ao todo por equipamento sendo uma gaxeta número 6, uma gaxeta número 11, uma gaxeta número 12 e uma gaxeta número 25).

Tendo como prerrogativa que o termoplástico possui características de reciclagem e considera ganhos ambientais e econômicos, a utilização deste material pode ser uma alternativa interessante para atendimento a PDPS_02 proposta respondendo de forma afirmativa o tópico 2.1 do check-list que, após o levantamento e comparativo das características físicas e químicas dos materiais atuais e propostos, existe a possibilidade de alteração visando aumento da durabilidade do produto e o prolongamento da vida útil. Este estudo abordará estes valores com maior profundidade na PDPS_8 mais a frente.

Por outro lado, no caso da gaxeta elastomérica em borracha, por se tratar de um material inservível, não possui um tempo estimado de decomposição no meio ambiente por ser um

produto que foi alterado química e fisicamente por intermédio da vulcanização e não pode ser desfeito, fazendo com que o descarte destas gaxetas seja total.

Figura 17 – Teste de ciclagem das vedações em termoplástico.



Tomando como base os 31.000 produtos manufaturados anualmente pela empresa e tomando esta mesma grandeza como descarte ou recondicionamento, os valores de ganhos econômicos, ambientais e sociais seguem demonstrados na tabela 7.

Entretanto, para seguir-se com a atividade de alteração das quatro gaxetas mencionadas, existe a necessidade de execução de quatro novas matrizes de injeção de gaxetas em termoplástico pois não é possível a utilização dos mesmos moldes do que se utilizam no processo de injeção de termoplástico. O valor de investimento de cada nova matriz gira em torno de R\$35.000,00 por peça, o que totaliza um valor de investimento total nesta ação de R\$140,000,00 que, comparativamente ao valor total do ganho estimado em R\$227.850,00 (tabela 12), trará um retorno sobre o investimento menor do que um ano.

Tabela 12 – Ganhos da aplicação da PDPS_02

Componente	Peso Kg		Redução de peso Kg	Custo R\$		Redução de custo R\$
	Borracha	PU		Custo Borracha	Custo PU	
gaxeta 6	0,325	0,250	0,075	11,25	7,50	3,75
gaxeta 11	0,075	0,065	0,010	3,50	2,25	1,25
gaxeta 12	0,075	0,065	0,010	3,50	2,25	1,25
gaxeta 25	0,070	0,060	0,010	3,15	2,05	1,10
Redução por Produto			0,105			7,35
Redução Total			3.255			227.850,00

Como o descarte da borracha não pode ser realizada de outra forma que não for em aterros sanitários, este cálculo de Kg também será computado como ganho social.

- **Redução dos Impactos durante a fase de uso**

O PDPS_03 relaciona a redução dos impactos durante a fase de uso e considera no desenvolvimento do projeto do produto os aspectos relacionados ao funcionamento, utilização do produto melhorando o desempenho ambiental do projeto na redução da utilização de insumos durante a sua utilização. No produto quando recondicionado, existe a necessidade de troca do fluido hidráulico quando faz-se o reparo do Servo Embreagem respondendo assim a pergunta 3.1 do check-list.

O fluido hidráulico que deve ser usado no servo de embreagem é o mesmo utilizado no sistema de freio, com a especificação ABNT EB 155 TIPO 4 (SAE J 1703 DOT 4). O fluido de freio DOT 4 é indicado para embreagem hidráulica, pois tem um ponto de ebulição alto e baixa viscosidade. A embreagem hidráulica usa o óleo para acionar o sistema por meio de atuadores e cilindros, como o cilindro mestre, o cilindro escravo e o atuador hidráulico. Cada servo possui a capacidade de 400 ml de fluido DOT 4 e geralmente é utilizado um kit para sangria do servo embreagem conforme figura 18.

O fluido retirado do servo embreagem recondicionado é descartado e não pode ser mais utilizado. O descarte incorreto de óleo pode causar danos graves à saúde e ao meio ambiente.

Alguns dos perigos são desde a contaminação do solo e da água e a poluição do ar até impactos à vida da sociedade.

Figura 18 – Kit de sangria do fluído de freio DOT 4 para servo embreagem.



Baseado na PDFE_01, o conceito da empresa assumir o recondicionamento do produto, o descarte foi de 15% dos produtos recondicionados o que corresponde aproximadamente a 4.650 Servos Embreagens. Considerando 400 ml por produto, tem-se o descarte de 1.860 litros por ano de fluido hidráulico DOT 4 conforme tabela 13, respondendo afirmativamente o tópico 3.2 do check-list onde pode-se alterar ou reduzir tais insumos visando um melhor desempenho ambiental.

Tabela 13 – Descarte de fluido hidráulico DOT 4

Produto	Peças / ano	Volume DOT 4 (litros)
Novo	31.000	12.400
Remanufaturado	9.300	3.720
Descartado	4.650	1.860

- **Novos conceitos no projeto do produto**

Assim como já abordado previamente na PDPS_01, na figura 14 pode-se visualizar Servos Embreagens em fim de vida útil e que serão descartados por não terem mais valia de funcionamento na reposição bem como, devido ao desgaste excessivo, não exista a possibilidade apenas da troca do reparo. Porém existe um novo mercado que hoje não é

trabalhado pela empresa em relação ao recondicionamento do produto. Isto faz responder a questão 4.1 do check-list referente a consideração do desenvolvimento de novos conceitos no projeto do produto que é a PDPS_4 que leva em conta o grau de implantação, complexidade, as demandas do mercado e as soluções alcançadas para estes produtos podendo ser potencialmente aplicadas a outros com características semelhantes. Certamente dentre as práticas de desenvolvimento de produto sustentável esta foi a de maior dificuldade de mensuração.

Quando trata-se de troca de conceito, a discussão é relacionada por vezes a troca não apenas do uso do produto mas para serviços como compartilhamento, aluguel e outras formas de eliminação do impacto do descarte em fim de vida útil. Neste estudo de caso, foi considerado como troca de conceito o processo de remanufatura do produto à ser descartado em um produto semi novo. Isto fez com que o conceito de comercialização fosse alterado considerando o mesmo produto porém com características de reparação diferentes das ocorridas no mercado como a troca do reparo já discutido anteriormente, visualizado na figura 19.

Figura 19 – Kit de reparo para o recondicionamento do produto.



Esta prática fez com que a empresa abrisse um campo de ganho econômico efetivo. Cada Servo Embreagem semi novo é comercializado por aproximadamente R\$350,00. Conforme verificado na tabela 14, existem 4.650 Servos Embreagens que iriam ser descartados e foram recondicionados. Isto trouxe a empresa um novo faturamento relacionado a este novo mercado de reposição.

Tabela 14 – Ganho de mercado com recondicionamento de Servos Embreagem

Etapa de alteração do Conceito	Valor R\$
Valor unitário de Servo recondicionado	350,00
Valor do kit de reparo	115,00
Mão-de-obra (por produto)	55,00
Custo total do recondicionamento	170,00
Ganho Econômico por peça	180,00
Quantidade à ser recondicionada	4.650
Ganho com a nova linha de produto	837.000,00

Como a empresa detém a tecnologia de manufatura do produto original, o diferencial que é esperado pelo alta direção é relacionado ao “recondicionamento original” feito pela própria empresa e não concorrer com outras empresas de manutenção de servos embreagem que não possuem certificação ou nomeação para efetuar este tipo de serviço. Para tanto, foi necessário investimento robusto no processo de recondicionamento. Após trabalho do departamento de engenharia de processos junto com o departamento de compras, o valor da linha necessária para recondicionamento dos produtos foi de R\$500.000,00. Na figura 20 é possível visualizar a linha adquirida para a execução do recondicionamento.

Figura 20 – Linha para o recondicionamento do produto.



Isto responde também a pergunta 4.2 do check-list onde, após o fim da vida útil, se pode utilizar este produto para uma outra aplicação de novo produto para um novo mercado.

- **Reutilização de materiais reciclados**

Como já adiantado na PDPS_05, outra prática empregada foi a PDPS_08 que considera no projeto do produto a possibilidade de reutilização de materiais reciclados e consiste na reutilização equivalente ao aproveitamento de materiais e componentes sem que esses passem por quaisquer tipos de alterações ou complexos processos de processamento. O reuso dos materiais é normalmente simples e refere-se a atividade de um desmonte e isto fica nítido já que, com as novas conexões em termoplástico, existe a possibilidade de reutilização desta matéria-prima no final de vida útil do componente.

O plástico (poliamida) consta na listagem do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) de materiais à serem reciclados e sendo assim pode-se seguir com o estudo sem problemas, respondendo afirmativamente o questionamento 8.1 referente ao material reciclado ser encontrado na listagem do IBAMA referente se pode ser reciclado ou não e questionamento 8.2 do check-list referente a existência de materiais reciclados que podem ser alterados no projeto do produto, caso a PDPS_01 for verdadeira.

A empresa faz o controle do descarte de materiais termoplásticos já que possui valor de revenda que normalmente é pelletizado após a reciclagem. Este descarte será mais aprofundado na próxima prática PDPS_09 referente a possibilidade de reciclagem de materiais utilizados no produto estudado.

Segundo o departamento de compras da empresa, o valor pago por cada kg virgem de Poliamida é de R\$11,33. Já o valor por kg do Poliamida reciclado em pellets é de R\$3,85 o kg. O departamento de EHS (*Environment, Health & Safety*) da empresa começou o acompanhamento recente à partir de abril de 2024 e sendo assim possuíam o acompanhamento de apenas sete meses (Junho à Outubro de 2024) e, a fim de calcular o impacto anual, tanto os valores de ganho em kg quanto em R\$ (reais) foram anualizados dividindo o total pelo número de meses e multiplicando-os por doze que são os números de meses no ano. O cálculo de impacto anualizado foi realizado em outras PDPSs também. Estes cálculos podem ser vistos na tabela 15.

Tabela 15 – Quantidade de redução de alumínio

Ano	Mês	Resina KG	PA Reciclado R\$	PA Virgem R\$	Ganho Total R\$
2024	Apr	1.230	3,85	11,33	9.200,40
2024	May	3.080	3,85	11,33	23.038,40
2024	Jun	1.480	3,85	11,33	11.070,40
2024	Jul	1.160	3,85	11,33	8.676,80
2024	Aug	1.150	3,85	11,33	8.602,00
2024	Sep	1.800	3,85	11,33	13.464,00
2024	Oct	2.750	3,85	11,33	20.570,00
Anualizado		21.686			162.209,14

O ganho total em R\$ foi calculado baseando-se na diferença ou na subtração da multiplicação do valor em Kg pelo valor do PA virgem e na multiplicação do valor em Kg pelo valor do PA reciclado.

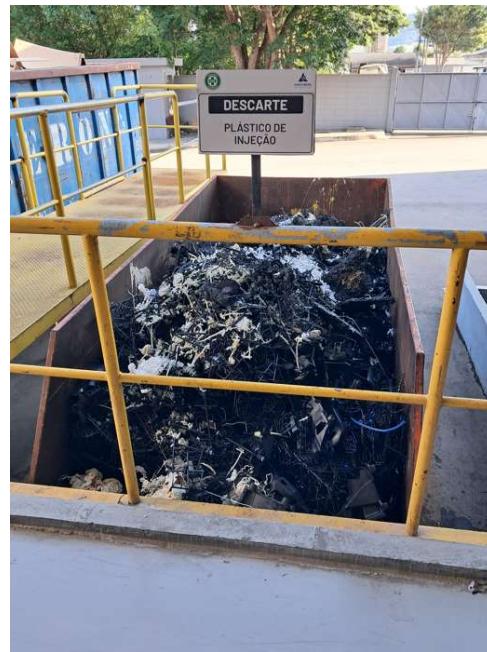
- **Possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados**

A PDPS_09 considera no projeto do produto a possibilidade de reciclagem dos materiais utilizados. A reciclagem é um processo de recuperação dos materiais e componentes de produtos usados e que poderão ser utilizados em novos produtos. É sugerido projetar um produto antevendo a reciclagem para recuperação do material ao final de vida e isto acontece durante a fase de Desenvolvimento.

Cada conexão pneumática alterada para PA pesa em torno de 0,010 kg por peça que, totalizando esse valor baseado nas 31.000 peças anuais comercializadas e sendo que utiliza-se duas conexões por produto, o valor de possibilidade de reciclagem de Poliamida é de 620 kg/ano. O valor não é tão considerável para a indústria já que atualmente ela utiliza mais de 25 toneladas de PA por ano. Porém o valor do Kg do Poliamida pode variar de R\$11,00 à R\$30,00 dependendo da composição final do material. Isto trouxe uma economia anual de R\$12.710,00 para a empresa utilizando a média do preço deste termoplástico, fazendo com que a pergunta do check-list 9.1 relacionada à existência da possibilidade de reciclagem para este ou novo

produto baseando-se nos materiais dos componentes utilizados no produto seja confirmada. Na figura 21 pode-se verificar o descarte e a coleta seletiva de termoplástico.

Figura 21 – Descarte e coleta de material termoplástico.



- **Redução de Energia**

Uma das práticas mais valiosas referente aos impactos ambientais é referente a redução de energia durante o ciclo de vida útil do produto. A PDPS_10 considera a possibilidade da redução do uso de energia vinculando, já na etapa de projeto, a redução do consumo de energia no processo de manufatura do produto ou durante o uso do produto.

Conforme o questionamento 10.2 do check-list, baseado nas etapas do processo de manufatura, existiu a redução de energia elétrica empregada já que conforme verificado na PDPS_05 anteriormente, o processo de usinagem de furação e rosqueamento foi retirado do processo. Segundo a Engenharia de Processo da empresa, a redução de tempo total do processo de usinagem sem estas duas etapas reduziu de 235 segundos para 221 segundos representando assim uma redução de 6% no tempo total e que pode ser replicado o mesmo valor na redução

da energia elétrica aplicada durante o processo de usinagem. Na figura 22 pode-se verificar o equipamento e a quantidade de cavaco retirada durante o processo de usinagem.

Figura 22 – Quantidade de cavaco do processo de usinagem da carcaça em alumínio.



Tabela 16 – Redução do consumo de energia

Mês	R\$ / KWh	Consumo por máquina KWh ano	Redução de 6% KWh / ano	Redução em R\$
Jan	0,72	6.430,10	385,81	277,75
Fev	0,73	7.285,20	437,11	318,34
Mar	0,74	7.233,20	433,99	321,77
Abr	0,74	7.083,06	424,98	316,57
Mai	0,75	6.197,90	371,87	279,01
Jun	0,75	6.806,20	408,37	305,38
Jul	0,83	6.620,70	397,24	327,95
Ago	0,77	7.172,00	430,32	333,17
Set	0,84	8.269,80	496,19	414,89
Anualizado	0,76 (media/mês)		5.047,85	3.859,79

Foi considerado a média de R\$ por KWh baseados entre os meses de Janeiro à Setembro de 2024 conforme descrito na tabela 16. O acompanhamento dos gastos com energia elétrica já é realizado pela empresa há vários anos. A fim de calcular o impacto anual, tanto os valores de ganho em KWh quanto em R\$ (reais) foram anualizados dividindo o total pelo número de meses e multiplicando por doze que são os números de meses no ano.

Para o questionamento 10.1 do check-list, existe a possibilidade de redução de energia elétrica baseado na utilização e uso do produto porém do próprio veículo. Esta redução pode ser sugerida em trabalhos futuros relacionados à redução de energia elétrica durante a fase de uso do produto.

Conforme discutido anteriormente, impacto de redução de energia também possui um ganho social já que terá impacto na redução de recursos naturais e sendo assim podem ser contabilizados como ganhos sociais.

- **Redução de Água**

Outra prática valiosa referente aos impactos ambientais, assim como a redução de energia, é a PDPS_11 que considera a diminuição do consumo de água no projeto do produto aplicando ações com o objetivo de redução do consumo de água durante o processo de manufatura e durante o ciclo de vida útil do produto.

Analizando o questionamento 11.1 do check-list. existe a possibilidade de redução da utilização de água ou derivados (fluído refrigerante) nas etapas do processo de manufatura.

O processo posterior ao de usinagem consistia na lavagem das carcaças usinadas em água com detergente a 60° a fim de retirar os cavacos que ficavam inseridos durante o processo de furação e rosqueamento. Como não existirá mais este processo durante a usinagem, o processo de lavagem das carcaças deixou de existir, eliminando assim o consumo de água neste processo.

Esta etapa pode ser visualizada na figura 23 a seguir:

Figura 23 – Processo de lavagem das carcaças de alumínio para retirada de cavacos do processo de furação e rosqueamento logo após o processo de usinagem.



A lavadora tinha a capacidade de 60 litros por carga. Carga é denominada para nome do processo de carga de água necessária para preencher a lavadora. A água era trocada por três vezes a cada semana totalizando semanalmente 180 litros ou 720 litros mensais. Tomou-se em consideração também a transformação volumétrica de $1m^3 = 1.000$ litros de água.

Do mesmo modo realizado no cálculo de ganho de energia, o acompanhamento dos gastos com água já é realizado pela empresa há vários anos. A fim de calcular o impacto anual, tanto os valores de ganho em litros quanto em R\$ (reais) foram anualizados dividindo a soma total pelo número de meses e multiplicando por doze que são os números de meses no ano.

A política de descarte de água na indústria é um conjunto de diretrizes e práticas que visa garantir o manejo adequado da água utilizada nas operações industriais, buscando minimizar impactos ambientais, otimizar o uso de recursos hídricos e cumprir com as regulamentações legais. A indústria deve estar em conformidade com as legislações locais, estaduais e nacionais, que podem incluir a Resolução CONAMA 357/2005, que regula a qualidade da água no lançamento de efluentes. Isto posto, o descarte de águas residuais deve ser realizado de acordo com as condições estabelecidas no licenciamento ambiental da empresa, incluindo parâmetros específicos de qualidade e volume de lançamento. Os cálculos podem ser verificados com maior visibilidade conforme a tabela 17 ao final deste tópico.

Assim como a energia, o impacto de redução de água também possui um ganho social já que terá impacto na redução de recursos naturais e sendo assim podem ser contabilizados como ganhos sociais.

Tabela 17 – Redução do consumo de água

Mês	Valor por m ³	Litros	m ³	R\$ ganho
Jan	37,86	720	0,72	27,26
Fev	43,43	780	0,78	33,88
Mar	43,38	720	0,72	31,23
Abr	45,38	660	0,66	29,95
Mai	46,48	720	0,72	33,47
Jun	48,15	720	0,72	34,67
Jul	47,08	780	0,78	36,72
Ago	46,21	780	0,78	36,04
Set	47,09	720	0,72	33,91
Out	47,10	720	0,72	33,91
Anualizado	8.784			397,24

- **Redução de CO₂**

Analizando a PDPS_12 referente aos questionamento 12.1 e 12.212.1, o estudo conseguiu quantificar o número de fretes à menos para a coleta de resíduos bem como quantificar a redução da emissão de CO₂ na atmosfera fazendo com que um dos Riscos Sociais sejam dirimidos, porém não eliminados.

Esta prática leva em conta a diminuição de emissão de CO₂ para o ar já na etapa de projeto do produto considerando os aspectos ambientais para minimizar os riscos de emissões disseminadas de CO₂ nas fases de produção, consumo e eliminação no ciclo de vida dos produtos.

Para o questionamento 12.1 do check-list, existe emissão de CO₂ nas etapas de eliminação do descarte de cavaco conforme visto anteriormente na PDPS_05, como existiu redução da quantidade de cavacos, abriu-se a possibilidade da redução do número de fretes de

coletas de resíduos, fazendo assim que o questionamento 12.2 do check-list referente a possibilidade de eliminar ou minimizar a emissão de CO₂ seja afirmativa. A redução do número de fretes baseada na redução de cavaco foi de uma caçamba a menos por mês ou doze no total por ano.

Segundo Manfrinato *et al.*, 2019, existem algumas etapas para o cálculo de emissão de CO₂ sendo que o primeiro passo é a definição de qual tipo de transporte será considerado para o cálculo. Como o transporte é feito por caminhões tamanho médio e, segundo artigos relacionados ao tema, o consumo médio de um caminhão Diesel para critérios de cálculo é de 3 km/litro.

Como comentado, a empresa estudada fica situada no Estado de São Paulo e a empresa de resíduos também é situada na cidade vizinha à planta de manufatura. Calculando a distância entre as duas empresas, tem-se um percurso de cerca de 9,6 km que, para o âmbito de cálculo, considera-se o percurso de ida e volta da coleta totalizando 19,2 km.

Outro ponto importante à ser levantado para o cálculo é o fator de transformação do combustível em CO₂ que é de 3,7 (C/CO₂). Finalmente, a última variável para atingirmos o cálculo de emissão de CO₂ na atmosfera é a densidade do Diesel que é de 0,83 kg/litro.

Com todas as informações dispostas, teve-se o seguinte cálculo:

- Percurso por coleta: 19,2 km
- Consumo de combustível (caminhão Diesel): 3 km/litro
- Fator de transformação do combustível: 3,7 (C/CO₂)
- Densidade do Diesel: 0,83 Kg/litro
- Litros de Diesel por coleta: $19,2 / 3 = 6,4$ litros

Cálculo final por coleta: $6,4 \times 0,83 \times 3,7 = 19,65$ kg de CO₂ por coleta.

Cálculo total da redução: $19,65 \times 12$ (coletas) = 235,80 kg de CO₂ / ano.

- **Redução de Substâncias Tóxicas**

A PDPS_13 considera a não utilização de substâncias perigosas (Tóxicas) no produto e portanto, já na definição do material a ser utilizado em um determinado produto, deve se considerar materiais com baixo índice de toxicidade e ou se possível isentas com propriedades que não interfiram no meio ambiente no seu descarte.

Para o questionamento 13.1 do check-list, pede-se a verificação na lista de materiais REACH das possíveis substâncias perigosas presentes no produto. O regulamento REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*) é uma legislação da União Europeia que entrou em vigor em 2007, com o objetivo de melhorar a proteção da saúde humana e do meio ambiente, garantindo a utilização segura de substâncias químicas. O REACH estabelece uma estrutura para a registro, avaliação, autorização e restrição de produtos químicos no mercado europeu. (Montoya e Reith, 2018).

Como viu-se na PDPS_05, a alteração das conexões de latão por PA reduziu o descarte de substâncias tóxicas e reduziu eventuais impactos ao meio ambiente. O latão é uma liga metálica composta principalmente por cobre e zinco, com variações nas proporções desses elementos. Ele é amplamente utilizado devido a diversas vantagens como durabilidade, resistência à corrosão, condutividade elétrica e térmica, resistência Mecânica e um bom custo-benefício (Holmberg *et. al*, 2004).

Existem diversos tipos de latão utilizados pela indústria automotiva para a produção de peças e componentes por ser um material e neste caso específico das conexões a empresa utiliza o Latão Corte Livre Americano CLA. Abaixo pode-se verificar a composição deste material conforme tabela 18.

Tabela 18 – Composição do Latão

Denominação	Ligas	Cu	Zn	Pb	Fe	Outros
	ASTM / UNS	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Latão Corte Livre Americano CLA	C36000	60	restante	2,5	0,35	0,5
		63		3,7		

Nota-se que três materiais se destacam na composição do latão: o cobre, o zinco e o chumbo e podem ser perigosos, dependendo da forma e da quantidade com que são expostos ao corpo humano ou ao meio ambiente.

O chumbo, dentre os materiais destacados no latão, é considerado uma substância altamente tóxica e a exposição a este material pode ocorrer por ingestão, inalação ou contato com a pele. Ele pode afetar o sistema nervoso, os rins e o sistema cardiovascular, além de ser especialmente perigoso para crianças, podendo causar danos ao desenvolvimento mental e físico. O envenenamento por chumbo é uma preocupação em áreas industriais e em locais com

pintura antiga que contenha chumbo. Já o Zinco e o Cobre possuem toxicidade moderada e só são considerados perigosos em altas quantidades e, sendo assim, não considera-se neste estudo como perigo a sociedade e ao meio ambiente e são amplamente utilizados pela indústria em geral (Holmberg et. al, 2004).

Respondendo então ao questionamento 13.2 do check-list, existem materiais que possuem substâncias perigosas em sua estrutura e que podem ser eliminados ou alterados no projeto do produto, no caso específico deste estudo, o Poliamida.

Utilizando a composição do latão e baseando-se na quantidade de conexões de latão eliminadas que chegaram a 62.000 conexões por ano (duas conexões por produto) e sabendo que esta conexão possui um peso de 0,052 kg por peça, temos a seguinte situação conforme tabela 19 abaixo:

Tabela 19 – Descarte de latão por elemento de sua composição

Composição do Latão	%	Peças/ano	Kg / pç	Total kg por elemento
Cobre	62,00%	62.000	0,052	1.999
Zinco	34,00%	62.000	0,052	1.096
Chumbo	3,15%	62.000	0,052	102
Ferro	0,35%	62.000	0,052	11
Outros	0,50%	62.000	0,052	16

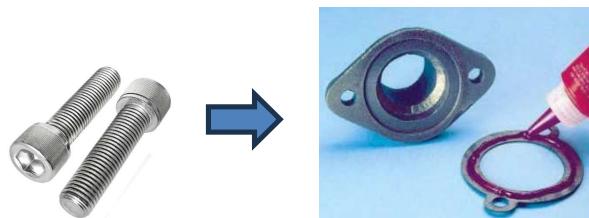
Isto posto, teve-se uma redução de 102 kg de chumbo à serem descartados no meio ambiente e reduzindo impactos à sociedade.

- **Redução de material**

A PDPS_14 considera no projeto do produto a oportunidade de reduzir quantidade de materiais utilizados. No desenvolvimento deste produto é possível considerar a redução da quantidade de material utilizado e cumprimento dos requisitos do produto e regulamentações para minimizarem o peso sem interferir flexibilidade, resistência ao impacto ou propriedades funcionais.

Analisando o questionamento 14.1 do check-list, baseando-se no BoM utilizado na manufatura do produto visto anteriormente, houveram reduções dos materiais dos componentes do produto. Geralmente a fixação de componentes à carcaça é realizada por fixadores (parafusos) e podem ser trocados por vedantes, cola juntas, adesivos e demais fixadores químicos na maioria dos casos conforme visualizado na figura 24.

Figura 24 – Alteração de parafusos por fixadores químicos



Assim como as conexões, utilizava-se anualmente 62.000 parafusos mecânicos nos Servos Embreagens sendo duas peças por produto. A descrição técnica e comercial deste componente segundo o departamento de Compras da empresa era Parafuso Sextavado M12 X 30 Inox Macho 1.75 Rosca Inteira e era adquirido por R\$ 2,65 cada componente.

Já o cola junta que foi utilizado para a eliminação dos parafusos como um fixador químico é mais caro do que o parafuso, sendo adquirido pela empresa por R\$35,77 a cada 70 gramas (embalagem padrão). Porém, foi possível aderir muito mais componentes com o cola junta do que com os parafusos em separado. Abaixo na tabela 20 é possível verificar esta diferença e bem como os ganho em redução de peso e valor.

Tabela 20 – Impacto da eliminação de fixadores mecânicos (parafusos)

Componente	R\$ / pç	kg / pç	qtd. / ano	Total Kg	Total R\$
Parafuso Sextavado M12 X 30 Inox	2,65	0,035	62.000	2.170	164.300,00
Adesivo - Cola Junta - 70 gramas	2,50	0,01	62000	620	155.241,80
Ganho				1.550	9.058,20

Outro ponto importante levantado pela Engenharia de Processo da empresa é que a dosagem de cola junta em cada produto variou já que a aplicação foi realizada manualmente e pode variar de operador para operador.

- **Diminuição de resíduos sólidos**

O PDPS_15 considera a diminuição da geração de resíduos sólidos sendo que no projeto é preciso concentrar-se na redução do consumo de materiais buscando a minimização de resíduos sólidos. Ações preventivas com objetivo de minimizar e eliminar a quantidade de material e insumos utilizados no produto também de ser levado em consideração.

Em relação ao questionamento 15.1 do check-list, dentre os materiais do produtos, existe a possibilidade de diminuir a geração de resíduos após a fase de uso do produto. Este cálculo já foi realizado na PDPE_09 referente aos resíduos de termoplástico provenientes do processo de injeção.

Devido as leis de descarte alinhadas a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a empresa subcontrata uma empresa terceirizada para realizar a coleta e destinação dos excedentes de termoplástico. Mensalmente, o valor contratado da empresa com a subcontratada gira em torno de R\$2.400,00 entre visitas para identificação, coletas das caçambas e Taxas de Retirada de Resíduos Sólidos. As coletas são realizadas todas as segundas e quintas-feiras (2 coletas semanais). Anualmente a empresa emprega com esta empresa R\$28.800,00 em descarte de resíduos apenas de termoplásticos. Em média, por coleta, os resíduos de termoplástico são descartados e destinados em 92 coletas anuais sendo 554 kg/coleta em média.

Pode-se verificar pelos números expressos que existe um grande campo à ser explorado com grande chance de ganhos substanciais tanto ambientais quanto econômicos já demonstrados na PDPS_09. Isto posto, os ganhos ambientais e sociais referente a redução de CO₂ com a diminuição de 10 coletas ano estão descritos na tabela 21.

Tabela 21 – Redução de CO₂ com a redução de coletas de termoplástico.

Etapa	Por Coleta	Litros Diesel por coleta	CO2 por coleta Kg	Redução / ano
Percorso por coleta	19,2 km	6,4	19,65	196,54
Consumo de combustível (caminhão Diesel)	3 km/litro			
Fator de transformação do combustível	3,7 C/CO2			
Densidade do Diesel	0,83 kg/litro			
Redução de Número de coletas / ano	10			

- **Embalagens recicladas**

As embalagens do produto possuem impacto considerável nas práticas de desenvolvimento sustentável do produto. Este fator é verdadeiro já que quatro práticas são destinadas à este tópico. São as PDPS_16, PDPS_17, PDPS_18 e PDPS_19.

Na PDPS_16 relacionada a consideração no projeto do produto da utilização de embalagens recicláveis devendo ser desenvolvidas de forma a facilitar a sua reciclagem.

O questionamento 16.1 do check-list é verdadeiro pois todas as empresas montadoras que utilizam peças da empresa estudada possuem especificações detalhadas de embalagem, segundo o departamento de logística da empresa. Anteriormente a empresa utilizava pallets e caixas de papelão no embarque de suas peças às montadoras e seguiam as especificações de seus clientes. Porém, muitas empresas fornecedoras enviavam seus componentes para a empresa estudada em embalagens de papelão e sendo assim a sua coleta devia ser realizada de forma diferenciada e separada conforme visualizado na figura 25.

Devido à dimensão e volume do produto Servo Embreagem, as embalagens em papelão eram individuais e dispostas em 12 produtos por pallet sendo 3 camadas com 4 produtos por camada. Os pallets de madeira não eram retornáveis.

Para o questionamento 16.2, já existem materiais reciclados nas embalagens adquiridas e possuem um percentual de celulose reciclado em sua composição.

Figura 25 – Coleta de embalagens de papelão realizados pela empresa



Para o cálculo do descarte, do mesmo modo realizado nos cálculos de ganho de outras PDPSs, o acompanhamento dos gastos com a coleta de papelão já era realizado pela empresa há alguns anos. A fim de calcular o impacto anual, tanto os valores de ganho em kg quanto em R\$ (reais) foram anualizados dividindo a soma total pelo número de meses e multiplicando por doze que são os números de meses no ano.

A empresa emprega em compra de embalagens novas a quantidade anualizada de 31.000 caixas de papelão para o produto estudado. Cada embalagem custa a empresa cerca de R\$5,00 por caixa. Deste montante, a empresa demonstrou que 20% deste valor era descartado em forma de resíduo a ser coletado e reciclado. Uma empresa subcontratada adquiria e coleta este material excedente por R\$0,30 centavos de R\$ por kg conforme pode ser visualizado na tabela 22 referente ao descarte de caixas de papelão.

Tabela 22 – Redução e ganho com embalagens de papelão.

Mês 2024	Embalagem Nova KG	Embalagem Nova R\$	Ganho em KG	Ganho em R\$
Jan	2.550	12.750,00	510	153,00
Fev	2.645	13.225,00	529	158,70
Mar	2.650	13.250,00	530	159,00
Abr	2.400	12.000,00	480	144,00
Mai	2.450	12.250,00	490	147,00
Jun	2.653	13.265,00	531	159,18
Jul	2.550	12.750,00	510	153,00
Ago	2.610	13.050,00	522	156,60
Set	2.825	14.125,00	565	169,50
Out	2.500	12.500,00	500	150,00
Anualizado	31.000	154.998,00	6.200	1.859,98

- **Redução de materiais nas embalagens**

Como as práticas relacionadas à embalagens se interligam, a PDPS_17 considera no projeto do produto a redução da quantidade de materiais nas embalagens. O impacto ambiental causado pelas embalagens, é um assunto discutido há anos no entanto alternativas devem ser buscadas a fim de reduzir ainda mais a quantidade de materiais e os impactos causados ao meio ambiente, melhorando a gestão de resíduos.

O questionamento 17.1 do check-list referente a PDPS_17 também se tornou afirmativo pois existiu redução de material de embalagem durante o processo de expedição e envio ao cliente.

Como ainda veremos na PDPS_18 à seguir, com a utilização de embalagens retornáveis alguns artigos como pallet de madeira foram descartados. Anteriormente a empresa também necessitava separar este resíduo porém a madeira não tinha valor comercial para reciclagem e sendo assim a empresa ainda, além da separação, arcava com o valor de descarte do excedente de pallets de madeira conforme visualizado na figura 26.

Figura 26 – Coleta de pallets de madeira realizados pela empresa



O cálculo do impacto anual da não necessidade de pallets de madeira em kg foram anualizados dividindo a soma total pelo número de meses e multiplicando por doze que são os números de meses no ano, conforme evidenciado na tabela 23.

Tabela 23 – Redução em kg dos pallets de madeira.

Mês	MADEIRA KG
Jan	1.850
Fev	2.360
Mar	1.410
Abr	3.700
Mai	3.250
Jun	2.840
Jul	3.080
Ago	1.530
Set	1.587
Out	1.493
Anualizado	27.720

- **Utilização de embalagens retornáveis**

Como foi dito, as PDPSs 16, 17, 18 e 19 estão interligadas pois se entrelaçam entre seus benefícios e ganhos. Tomando como base o caso anterior da PDPS_17 demonstrado na figura 27, o ganho econômico da não aquisição de pallets e caixas de madeira também foi expressivo e importante para a empresa.

A PDPS_18 considera no projeto do produto a utilização de embalagens retornáveis, desenvolvendo já na etapa do projeto do produto o conceito de embalagem retornável. A utilização de embalagens retornáveis pode reduzir os custos devido à multifuncionalidade. A ação foi utilizar caixas de plástico retornáveis estilo KLT de modelo 6425 conforme figura 27 abaixo:

Figura 27 – Caixas KLT modelo 6425



Neste ponto pode-se tratar as PDPS_17 e PDPS_18 em conjunto pois apenas uma ação impactou nas duas práticas. No questionamento 18.1 do check-list, o descarte das embalagens de papelão e madeira no destino final impacta consideravelmente o meio ambiente, tendo que ser tratada de forma diferenciada no usuário final, com práticas específicas de recolhimento, separação e disposição.

Como a maioria dos clientes não viram problemas em utilizar o conceito de embalagens retornáveis segundo o departamento de logística da empresa conforme questionamento 18.2 do check-list, a ideia passada às montadoras foi no formato de redução de custo com a eliminação das caixas de papelão e madeira e a inclusão de embalagens retornáveis com o acréscimo de sacos plásticos individuais conforme figura 28 já que não existiriam empecilhos logísticos, fazendo com que o questionamento 18.3 seja verdadeiro.

Figura 28 – Sacos plásticos individuais por produto.



Para o cálculo de ganho econômico da eliminação das caixas e pallets de madeira, utilizou-se o volume anual de produtos comercializados já abordado em demais práticas bem como levantado os valores da caixa de madeira e pallets junto ao departamento de compras da empresa. Cada pallet era adquirido por R\$ 14 e cada caixa de madeira por R\$ 43,00 cada uma, totalizando R\$57,00 por embalagem sendo que cada caixa comportava cerca de 20 produtos, conforme tabela 24.

Tabela 24 – Redução em kg dos pallets de madeira.

Peças por caixa de madeira	Volume anual	Nº de embalagens de madeira / ano	R\$ por caixa	R\$ por Pallet	Total R\$ por embalagem de madeira	Redução de custo R\$ com embalagem de madeira
20	31.000	1.550	43,00	14,00	57,00	88.350,00

- **Eficiência de embalagem**

Finalmente, para finalizar o tópico de embalagens, a PDPS_19 é relacionada a consideração da eficiência da embalagem do produto com ganhos de espaço e de proteção do produto e devem ser considerados por impactarem nos transportes e armazenagem.

Conforme já abordado anteriormente, devido à dimensão e volume do produto Servo Embreagem, as embalagens em papelão eram individuais e dispostas em 12 produtos por pallet sendo 3 camadas com 4 produtos por camada conforme figura 29.

Figura 29 – Embalagem anterior que foi eliminada.



Com a nova embalagem retornável que possui garras específicas para encaixe de uma embalagem retornável para outra (KLT 6425), existiu o ganho do número de peças por pallet já que o número de peças por camada continuou com 4 produtos porém o número de camadas passou de 3 para 4. Isto trouxe uma redução no número de fretes em 25%. Isto também trouxe uma eliminação de CO₂ considerável porém, como as novas embalagens são retornáveis, não foi considerado no estudo este ganho.

Respondendo ao questionamento 19.1 do check-list, existiu a possibilidade de utilização de mais produtos por embalagem e a redução de redução de peso referente ao questionamento 19.2 pôde ser considerado na embalagem anterior do produto já que a nova embalagem plástica é mais leve do que a atual de madeira.

Na figura 30 pode-se visualizar a nova embalagem retornável proposta que não necessitará mais de pallets de madeira e possui maior cubagem de acondicionamento.

Figura 30 – Embalagem retornável alterada.



Com esta diferença de cubagem, teve-se o cenário de uma maior eficiência com mais peças por embalagem reduzindo assim o número de fretes necessários para a entrega dos produtos aos clientes finais conforme tabela 25.

Tabela 25 – Redução de fretes referente a melhor acondicionamento de peças por embalagem.

Tipo de Embalagem	Peças por embalagem	Volume anual	Nº de embalagens / ano	Número de fretes / ano	R\$ por Frete / km	Quantidade de Km	R\$ frete total
Caixa de Madeira	20	31.000	1.550	129	6,36	64,00	52.576,00
Embalagem Retornável	24	31.000	1.292	108	6,36	64,00	43.813,00
							Ganho 8.763,00

- **Rotulagem dos materiais e instruções de eliminação e descarte**

A PDPS_20 considera a rotulagem dos materiais e instruções para eliminação e descarte, onde se inclui informações nos rótulos de identificação sobre os materiais utilizados e formas de descarte ambientalmente corretos. Isto posto, obrigatoriamente as embalagens necessitavam possuir informações descritas referente ao produto e suas características, o que faz responder positivamente ao questionamento 20.1 do check-list.

A ideia da empresa foi inserir uma rotulagem na embalagem e no produto com informações de descarte e recondicionamento, como uma espécie de propaganda gratuita, relatando os benefícios do recondicionamento original do produto realizado pela própria empresa. Com isso a empresa teve um acréscimo de 3% na venda de peças recondicionadas que antes não eram realizadas. Isto fez com que os questionamentos 20.2 e 20.3 sejam verdadeiros.

Cada etiqueta (bula) foi adquirida pelo departamento de Compras da empresa ao valor de R\$0,30 centavos de R\$. O ganho de 3% em relação as 31.000 peças manufaturadas anualmente representou 930 peças recondicionadas adicionais além das manufaturadas atualmente pela empresa.

O custo total do recondicionamento, conforme já verificado em outras práticas anteriormente foi de R\$170,00 ao todo, sedo R\$115,00 referente ao kit de reparo e R\$55,00 de mão-de-obra para recondicionamento do produto. Abaixo na tabela 26:

Tabela 26 – Ganhos com rotulagem ambiental.

Etapa Rotulagem	Valor R\$
Custo Bula adicional de recondicionamento / descarte	0,30
Quantidade peças adicionais estimada	930
Valor do kit de reparo	115,00
Mão-de-obra (por produto)	55,00
Custo total do recondicionamento	170,00
Valor unitário de Servo recondicionado	350,00
Ganho Econômico por peça	180,00
Ganho com rotulagem	167.400,00

• Distribuição e transporte

A PDPS_21 considera aspectos de distribuição e transportes com a otimização logística, priorizando o uso de veículos com menor emissão de poluentes, menor consumo de combustível.

Como verificado anteriormente nas práticas de embalagem, não existem empecilhos logísticos (rotas, fretes, etc) para implantação de rotas alternativas menores ou redução de fretes fazendo assim que o questionamento 21.1 seja verdadeira. Outros modais podem ser

considerados já que a gestão logística da transportadora ao cliente é realizada desde o entreposto logístico fazendo com que o questionamento 21.3 seja também afirmativo. Este estudo pode ser realizado como trabalhos futuros. Assim como o questionamento 21.2 pode ser considerado verdadeiro pois existiu a possibilidade de alterações de fornecedores mais próximos à operação que o produto será manufaturado conforme verificamos na PDFE_14 onde a troca dos parafusos para vedante químico trouxe uma troca de fornecedor e redução em transportes e fretes. Anteriormente era realizado uma entrega mês dos componentes atuais e o mesmo ocorre com o novo fornecedor de vedantes químicos.

A tabela 27 à seguir demonstra os cálculo de redução de CO₂ relacionada a esta alteração de fornecedor.

Tabela 27 – Redução de fretes referente a melhor acondicionamento de peças por embalagem.

Etapa	Por Coleta	Litros Diesel por coleta	CO ₂ por entrega Kg	Redução / ano CO ₂
Percorso por coleta (novo fornecedor)	64	km	14,33	44,02
Percorso por coleta (atual fornecedor)	21	km		
Consumo de combustível (caminhão Diesel)	3	km/litro		
Fator de transformação do combustível	3,7	C/CO ₂		
Densidade do Diesel	0,83	kg/litro		
Diferença da distância entre fornecedores	43	km		

- **Normas e regulamentações ambientais**

A PDPS_22 considera as normas e regulamentações de padrões ambientais visando garantir o uso de matérias-primas e componentes que estejam em conformidade com as normas de proteção ambiental.

O questionamento 22.1 do check-list é de fácil atingimento já que os clientes montadores que possuem negócios com a empresa exigem a certificação ISO14000 mesmo que o fornecimento se dê localmente. Porém a empresa iniciou a exportação para outros Países e sendo assim novas normas ambientais relacionadas a cada região começaram à ser necessárias.

Exemplificando, a empresa atendeu a Diretiva 94/62/EC relacionada a embalagens e resíduos de embalagem que tem como objetivo controlar o impacto ambiental das embalagens

e reduzindo os resíduos gerados. Tem como exigência que os exportadores devam assegurar que as embalagens dos produtos atendam às exigências de reutilização, reciclagem e eliminação de resíduos conforme a legislação europeia. Como este tópico de embalagem foi amplamente discutido neste estudo em diversas práticas, a empresa seguiu a Diretriz e aumentou a sua participação de mercado onde antes não era atendido. Com isso, o Departamento de Vendas & Marketing da empresa vendeu produtos recondicionados a novos clientes europeus, e aumentou as vendas em 2% adicionais em relação as 31.000 peças manufaturadas anualmente, o que representou 620 peças recondicionadas adicionais além das manufaturadas atualmente pela empresa.

Como vimos na PDPS_20, o custo total do recondicionamento, conforme já verificado em outras práticas anteriormente era de R\$170,00 ao todo, sendo R\$115,00 referente ao kit de reparo e R\$55,00 de mão-de-obra para recondicionamento do produto. Isto respondeu afirmativamente o questionamento 22.2 referente a existência de regulamentações geográficas diferentes da do país de origem da planta manufatureira.

A Tabela 28 à seguir demonstra com maior visibilidade o ganho econômico relacionado à esta PDPS.

Tabela 28 – Ganhos referentes a exportação de produtos recondicionados.

Etapa Rotulagem	Valor R\$
Quantidade peças adicionais estimada	620
Valor do kit de reparo	115,00
Mão-de-obra (por produto)	55,00
Custo total do recondicionamento	170,00
Valor unitário de Servo recondicionado	350,00
Ganho Econômico por peça	180,00
Ganho com exportação (normas e regulamentações)	111.600,00

- **Segurança e saúde no projeto**

Por fim, temos a PDPS_23 que considera os aspectos de segurança e saúde no projeto do produto, adotando as expectativas dos clientes e os requisitos regulamentares como

importantes elementos de orientação para saúde e segurança no projeto do produto, na fase de manufatura, no uso e no descarte ao final de vida.

De todas as práticas vistas até agora, esta prática é a mais relacionada com ganhos sociais. No questionamento 23.1 do check-list, existiam riscos de segurança e saúde na utilização do produto devido ao peso final que, caso ocorresse uma queda accidental do produto, poderia trazer eventuais fraturas ao ser humano assim como no questionamento 23.2 onde existiam riscos de segurança e saúde também no uso do produto da mesma forma porém, com o usuário final. As mesmas considerações são feitas em relação aos questionamentos 23.3 e 23.4 do check-list proposto.

Em relação a redução de peso, temos o seguinte cenário conforme tabela 29:

Tabela 29 – Balanceamento de massa referente a redução de peso do produto após aplicação das PDPSs.

Produto	PDPS	Peso antes das PDPSs em Kg	Redução de Peso em Kg	Peso depois das PDPSs em Kg
Total Atual	PDPS2	1,7500	0,0000	1,7500
Gaxetas	PDPS4	1,7500	0,1050	1,6450
Carcaça de alumínio	PDPS5	1,6450	0,1050	1,5400
Oring	PDPS6	1,5400	0,0003	1,5398
Conexões	PDPS5	1,5398	0,0170	1,5228
Parafusos (2X)	PDPS14	1,5228	0,0700	1,4528
Total Novo		1,7500	0,2973	1,4528

A diferença de 0,2973 Kg foi considerável se analisarmos a melhora na Ergonomia do usuário final na montagem e manipulação do produto e sem dúvida é o maior ganho social do trabalho.

Existem alguns estudos e órgão regulatórios que trazem normas e regulamentações referente ao carregamento de peso e manipulação de cargas como a NR-17 (Norma Regulamentadora 17) que estabelece os parâmetros para a ergonomia no ambiente de trabalho, incluindo fatores como mobiliário, ambiente físico e organização do trabalho.

Um método de cálculo para redução do impacto da redução de peso de um produto foi realizado pelo *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH, 2023) que traz

uma ferramenta que leva em consideração o peso da carga, a distância de levantamento, a altura de levantamento da carga, a frequência e duração da tarefa, o ângulo de assimetria e a qualidade de pega da carga. Como têm-se redução de peso, certamente houve uma melhora no Limite de Peso Recomendável (LPR).

Seria interessante a análise mais aprofundada dos cálculos de LPR como sugestão de trabalhos futuro.

4.4.3 Etapa de Pré-Produção do DPS considerando a EC

Nesta seção serão abordadas as PDPS's relacionadas a etapa de Pré-Produção. As PDPS que aparecem nesta etapa são a *DfM*, a *DfD* e a Remanufatura.

- ***Design for Manufacture (DfM)***

Avançando no check-list para a pergunta 5.1 relacionadas à manufatura, através de observação e pesquisa do ciclo de vida do produto, uma das etapas de maior gargalo e custo na produção, logo após a fundição, era o processo de usinagem da carcaça de alumínio. A necessidade de faceamento, furação e usinagem das roscas antes da montagem das conexões faziam desta etapa um dos processos que dispendiam maior custo relacionada a mão-de-obra e horas de equipamento necessários que eram agregados no custeio final da peça. Além disto, existia a necessidade do descarte de cavacos inerentes ao processo de usinagem.

Nesta etapa de redução de usinagem, pôde-se atestar a aplicação conjunta da prática de PDPS_05 que considera o uso eficiente da tecnologia ou o design para a manufatura (*DfM*) já que o design para o meio ambiente é uma perspectiva de engenharia na qual as características ambientalmente relacionadas de um produto ou processo estão relacionadas ao uso eficiente dos recursos dentro do processo de manufatura.

Uma carcaça padrão de alumínio após o processo de fundição foi pesada demonstrando um peso aproximado de 1.280 gramas. O mesmo procedimento foi realizado após o processo de usinagem da carcaça que, após o processo de faceamento, furação e rosqueamento possuía como peso final o resultado de 1.175 gramas. Esta diferença de 105 gramas era gerada de cavaco durante o processo de usinagem da carcaça de alumínio destinada ao produto de Servo Embreagem para caminhões e implementos rodoviários. Destas 105 gramas de cavaco, 55

gramas eram originadas do processo de furação e usinagem. A empresa comercializava em média 31.000 conjuntos de Servo Embreagem por ano. Isto responde a pergunta 5.2 do checklist referente a redução ou eliminação das etapas de processo de manufatura.

Na pesquisa de produtos, existiam conexões que não necessitavam do processo de rosqueamento. Uma empresa europeia possui um sistema de conexão *push-in* que pode ser montada à carcaça de alumínio por pressão. Na figura 31 pode-se verificar um comparativo destas conexões que, além de possuírem a montagem sobre pressão sem a necessidade dos fios de rosca na carcaça de alumínio, utiliza-se como matéria-prima não mais o latão e sim também o termoplástico, assim como as gaxetas que foram discutidas no PDPS_02 anteriormente, reduzindo assim o peso do componente e eliminando o processo de usinagem das rosas. Além disto, para esta conexão, o poliamida (PA) era uma solução requisitada no segmento de plásticos industriais por possuir propriedades que o diferenciam de outros termoplásticos agregando qualidade na aplicação. Também tem sido uma opção na substituição do metal por plástico sendo empregado principalmente em peças e engrenagens. Entre os diferenciais do PA, destacam-se a leveza, baixo coeficiente de atrito, resistência ao desgaste e à agentes químicos, alta cristalinidade, alta resistência à tração, elasticidade, tenacidade e à abrasão.

Adicionalmente a isto, o latão possui em sua composição minerais pesados que estão sendo eliminados gradualmente dos processos de diversos itens do setor automotivo como o Cobre e o Chumbo. Este tópico foi discutido anteriormente em outra prática de DPS relacionado à substâncias tóxicas e que podem impactar na saúde e bem estar da população.

Figura 31 – Comparativo entre a nova conexão *push-in* em termoplástico sem a necessidade de rosca com a conexão atual em latão.



Para o balanceamento de massa realizado com a diminuição da usinagem e geração de cavacos metálicos de alumínio no processo de furação e rosqueamento, foi construída a Tabela 30 abaixo para uma melhor visualização da redução que teve-se com os descartes.

Segundo dados da empresa, a perda de massa em alumínio durante o processo de fundição relacionadas a coquila, canais de injeção e rebarbas relacionadas ao fechamento do molde girava em torno de 2%. O investimento realizado para a troca das conexões de latão por termoplástico foi levantado. Segundo primeira proposta analisada, teve-se o acréscimo de R\$115.000,00 referente a necessidade de um novo molde de alumínio já que a carcaça já sai agora pronta do molde para a montagem sobre pressão das novas conexões.

Baseando em um consumo anual de 31.000 produtos por ano comercializados pela empresa deste produto, teve-se:

Tabela 30 – Balanceamento de Massa para a carcaça de alumínio

Processo	ALUMÍNIO NA ENTRADA DO PROCESSO (KG)	RESÍDUOS NO PROCESSO (KG)	MASSA NA SAIDA DO PROCESSO (KG)
Fundição	40.480	800	39.680
Usinagem (carcaça)	39.680	1.550	38.130
Usinag. (furo/rosca)	38.130	1.705	36.425
Injeção	36.425	0	36.425
Inspeção	36.425	0	36.425
Montagem	36.425	0	36.425
Total	40.480	4.055	36.425

Totalizando financeiramente o gasto de material excedente que era descartado, cada quilo de material base alumínio girava em torno de R\$14,50/kg. Totalizando todos os 1.705 quilos anuais que eram descartados durante o processo de furação e rosqueamento, chegou-se ao valor de R\$24.722,50. Todo este excedente era descartado por uma empresa terceirizada já que a empresa não possuía nenhuma prática de reciclagem para a matéria-prima em alumínio conforme pode ser verificado na figura 32.

Figura 32 – Descarte de cavaco da empresa.



- ***Design for Disassembly (DfD)***

Para o PDPS_06 que considera a desmontagem (DfD) no projeto do produto, a resposta à pergunta 6.1 é afirmativa pois existiu a possibilidade de alteração do design a fim de facilitar a desmontagem já que este conceito está em crescimento na manufatura e considera a desmontagem como benefício, minimizam o consumo de material e energia, maximizando a possibilidade de reutilização e reciclagem. No estudo de caso do Servo Embreagem, foi possível a redução do número de componentes conforme questionado na pergunta 6.2 pois, conforme demonstrado na figura 31, a nova conexão possuía um oring elastomérico a menos que, no fim do ciclo de vida útil, não teve a necessidade de ser desmontado, impactando positivamente o meio ambiente. Tomando como base o valor de produtos à serem descartados de 4.650 peças, a redução em kg deste componente foi de 1,16 conforme tabela 31. O valor pode parecer não expressivo devido ao peso do componente oring ser muito pequeno devido ao seu dimensionamento e massa porém, se tratando de borracha, o impacto da redução de descarte ao meio ambiente deve ser considerado por se tratar de um material inservível.

Tabela 31 – Quantidade de redução em kg de um o’ring

Etapa DfD	Valores
Quantidade de produtos à ser descartado	4.650 peças
Quantidade de Orings por produto à ser descartado	1 peça
Peso do Oring em EPDM / pç	0,25 gramas/pç
Quantidade total de redução em Kg	1,16 kg

Do mesmo modo que a PDPS_02, o descarte da borracha não pode ser realizada de outra forma que não for em aterros sanitários tendo impacto social. Este impacto em Kg será computado como ganho a sociedade.

Existiam apenas dois fixadores mecânicos (parafusos) na junção da carcaça de alumínio à tampa do sensor conforme verificado na figura 10. Estes dois componentes podiam ser verificados facilmente pois possuem entrada para ferramenta tipo “Allen” no topo do componente onde era realizado a montagem e desmontagem do produto.

Estes componentes foram alterados para fixadores químicos e sendo assim foram abordados com mais profundidade na PDPS_14 relacionada a redução de material utilizado, respondendo assim positivamente a pergunta 6.3 do check-list.

- **Remanufatura**

A PDPS_07 considera no DPS a remanufatura ou reuso dos componentes utilizados e que consiste na recuperação de componentes e materiais estabelecendo uma fonte confiável de materiais para novos produtos ou reparo de produtos durante o ciclo de vida. Como informado anteriormente na PDPS_02, os componentes dispostos no kit de reparo devem ser repostos. Porém no caso da carcaça de alumínio, existiu a possibilidade de reutilização por se tratar apenas de um componente estrutural e não funcional, além de possuir a maior massa em kg do produto final. Por este motivo o questionamento do check-list 7.1 é afirmativo.

Já ligando o questionamento 7.2 do check-list, a remanufatura do Servo de Embreagem foi totalmente viável e atualmente realizada por diversas empresas de serviço de peças e manutenção localizadas no Brasil. Consiste na desmontagem do produto, recuperação de componentes e remontagem dos componentes em um novo produto para um novo mercado de reposição de equipamentos originais.

Por se tratar do componente de maior peso e massa referente ao produto final, o ganho ambiental da remanufatura da carcaça de alumínio foi considerada grande. Na tabela 32 consegue-se visualizar os ganhos em kg de não descartar a carcaça de alumínio e sim remanufaturá-la. Baseando-se na mesma quantidade de 4.650 peças descrita na PDPS_4 relacionada a um novo conceito de produto, bem como sabendo que o peso do produto era de 1.750 kg, a redução em peso descartado no meio ambiente ou em algum processo de reciclagem foi de 8.138 kg anuais.

Tabela 32 – Quantidade de redução de alumínio

Etapa	Volume Kg
Remanufaturado	4.650
Peso por produto	1.750
Total	8.138

A remanufatura da carcaça de alumínio consiste na desmontagem, limpeza, secagem, usinagem (em caso de peças que tiveram suas características dimensionais alteradas durante a fase de uso) e secagem. Este processo pode ser visualizado na figura 33 onde demonstram carcaças de alumínio que passaram por este processo de remanufatura.

O descarte no alumínio não é realizado em aterros sanitários assim como outros componentes e possui legislação própria e valor de mercado para o kg de alumínio descartado. Este análise pode ser aprofundada futuramente em ganhos econômicos da recuperação deste material pela empresa.

Figura 33 – Recondicionamento de carcaças de alumínio.



Para a análise e avaliação de todos os ganhos econômicos, ambientais e sociais, contabilizou-se na tabela 33 à seguir:

Tabela 33 – Resumo dos ganhos por PDPS

Práticas	Descrição	Ganhos			
		Econômico	Investimento	Ambiental	Social
PDPS_01	Avaliação do Ciclo de Vida - ACV			8.138 Kg	
PDPS_02	Durabilidade	R\$ 227.850,00	R\$ 140.000,00	3.255 Kg	3.255 Kg
PDPS_03	Fase de Uso			1.860 Litros	
PDPS_04	Novo Conceito	R\$ 837.000,00	R\$ 500.000,00		
PDPS_05	DfM	R\$ 24.722,50	R\$ 115.000,00	1.705 Kg	
PDPS_06	DfD			1,16 Kg	1,16 kg
PDPS_07	Remanufatura ou Reuso			8.138 kg	
PDPS_08	Reutilização de materiais reciclados	R\$ 162.209,14			
PDPS_09	Reciclagem dos materiais utilizados	R\$ 12.710,00			
PDPS_10	Redução de Energia	R\$ 3.859,79		5.047,85 KW	5.047,85 KW
PDPS_11	Redução de Água	R\$ 397,24		8.784 litros	8.784 litros
PDPS_12	Redução de CO2			235,80 kg de CO2	235,80 kg de CO2
PDPS_13	Substâncias Tóxicas			102 kg	102 kg
PDPS_14	Reducir quantidade de materiais	R\$ 9.058,20		1.550 kg	
PDPS_15	Geração de resíduos sólidos			196,54 kg de CO2	196,54 kg de CO2
PDPS_16	Embalagens recicláveis	R\$ 1.859,98		6.200 kg	
PDPS_17	Reducir material das embalagens			27.720 kg	
PDPS_18	Embalagens retornáveis	R\$ 88.350,00			
PDPS_19	Eficiência da embalagem	R\$ 8.763,00			
PDPS_20	Rotulagem	R\$ 167.400,00			
PDPS_21	Distribuição e Transporte			528,21 kg de CO2	528,21 kg de CO2
PDPS_22	Normas e Regulamentações ambientais	R\$ 111.600,00			
PDPS_23	Segurança e Saúde				0,297 kg / pç
Total		R\$ 1.655.779,85	R\$ 755.000,00		

Para a análise dos ganhos econômicos, o cálculo de retorno sobre o investimento mostrou-se totalmente viável já que demonstra de forma objetiva o quanto se espera de ganho versus o que necessita ser investido. Como o levantamento das informações foram baseadas em período de 12 meses (1 ano) e os investimentos previstos estão alocados dentro do próprio ano, a análise deste trabalho baseou-se também no mesmo período. Isto explica a anualização de

alguns números nas práticas já que tinha-se em mãos dados incompletos para fechamento da análise anual dentro do ano de 2024. Abaixo verifica-se dois tipos de cálculos. O primeiro cálculo é baseado no % de ROI onde, caso o resultado for menor que 100%, significa que o valor do investimento é maior do que o ganho.

$$\% \text{ ROI} = \frac{\text{Lucro líquido anual}}{\text{Investimento em ferramentas de PDPS}}$$

Investimento em ferramentas de PDPS

$$\% \text{ ROI} = \frac{\text{R\$ 1.655.779,85}}{\text{R\$755.000,00}} \times 100$$

$$\% \text{ ROI} = \mathbf{219,31\%}$$

Já para o segundo cálculo, baseia-se no período de ROI da taxa de retorno onde, caso o resultado for maior que 1,00, significa que não teremos o valor de investimento coberto durante o período pré-estabelecido de 12 meses (1 ano).

$$\text{Período ROI} = \frac{\text{Investimento em ferramentas de PDPS}}{\text{Lucro líquido anual}}$$

$$\text{Período ROI} = \frac{\text{R\$755.000,00}}{\text{R\$ 1.655.779,85}}$$

$$\text{Período ROI} = \mathbf{0,46}$$

Os resultados econômicos referente à aplicação das Práticas de Desenvolvimento de Produto Sustentável , mesmo sendo comparativamente mais onerosa à empresa por ser uma solução mais cara que atual, mostrou-se totalmente viável com um Retorno sobre Investimento estimado em 0,46 ou 5,5 meses. O %ROI também mostrou-se um grande percentual de ganho com resultado de 219,31% demonstrando mais uma vez a viabilidade econômica das alterações e melhorias propostas

CAPÍTULO 5 - DISCUSSÃO

O framework DPS considerando a EC implementado demonstrou uma evolução em relação aos demais frameworks estudados já que visou a avaliação de circularidade considerando a Economia Circular desde o início do Projeto do Produto além de englobar todas as 23 Práticas de Desenvolvimento de Produto Sustentável levantadas pela literatura na Revisão Sistemática. Conseguiu de forma mais completa englobar as práticas mais recentes destinadas ao design e desenvolvimento de produto. O check-list criado para suportar o framework de DPS considerando a EC também foi preponderante para a aplicação dos conceitos na prática de forma mais dirigida e assertiva, ajudando a organizar as tarefas de forma estruturada, deixando claro o que precisa ser feito, facilitando o processo de planejamento e execução das PDPS, garantindo que nenhuma ação ou etapa tenha sido esquecida, evitar falhas ou omissões e ajudando a manter o foco, evitando assim distrações ou a repetição de tarefas, resultando em uma execução mais rápida e eficaz. Os frameworks disponíveis e estudados não conseguiram, de forma clara, analisar e quantificar os ganhos econômicos, ambientais e sociais desde a fase de *design* do produto bem como tinham dificuldade de expressar o conceito de EC. Luo et al. (2023) utilizou um framework de análise para revelar as preferências dos usuários de automóveis a partir do conteúdo gerado pelo usuário porém sem citar a EC. Já Singh e Sarkar (2020) desenvolveram um framework baseado em Delphi fuzzy e DEMATEL para desenvolvimento sustentável de produtos porém sem quantificar no estudo de caso os ganhos econômicos e sociais na indústria automotiva indiana. Pigosso et al. (2013) apresentou um modelo de maturidade do ecodesign construindo um framework de gestão para apoiar a implementação do ecodesign em empresas de manufatura Vimos também durante a pesquisa os frameworks do Instituto Ellen MacArthur (2016) e Rozenfeld et al. (2006) porém não conseguiram traduzir a estratégia de EC como um todo. O que chegou mais perto foi o framework de Vezolli & Manzini (2014) já que o próprio conceito de circularidade já estava explícito em sua estrutura, porém ainda com foco na eliminação e utilização de matérias-primas. Porém, foi o precursor da definição de passagem do conceito entre produto e serviço. Atualmente já conseguimos utilizar e tocar em vários casos de serviço que ainda eram incipientes na época como o compartilhamento de produtos, utilização de serviços de locação de bens de menor valor e aplicação de novas tecnologias embrionárias até aquela data. A

aplicação do framework DPS considerando a EC na empresa conseguiu tratar da circularidade não somente na eliminação dos resíduos provenientes do processo de manufatura mas também na circularidade com enfoque no Processo de Design do produto após a avaliação de descontinuidade do produto. Aliás esta foi a principal contribuição do framework DPS considerando a EC. Evidenciou-se também pelo framework que as etapas onde as ações são implementadas para o correto desenvolvimento de produto sustentável não são as mesmas etapas onde os impactos e ganhos ocorrem. Ficou evidenciado pelo framework DPS considerando a EC que a aplicação das ações estavam mais localizadas nas etapas de Pré-desenvolvimento e Desenvolvimento e os ganhos de impacto estão mais localizadas na nas etapas de Distribuição, Pós e Eliminação; o que fez sentido principalmente quando tratou-se dos ganhos ambientais e sociais. Portanto o framework DPS considerando a EC inova o estado da arte pois adiciona à literatura existente mais uma ferramenta inovadora que não encontrou-se presente durante a fase de pesquisa da RSL. Também inova a prática pois, através de um estudo de caso profundo, conseguiu atrelar as 23 práticas de DfE em apenas um produto da empresa pesquisada. Este framework DPS considerando a EC pode ser utilizado como um guia inspirador para que outras empresas apliquem a mesma metodologia de análise e avaliação. Contribui também com a Sociedade já que o framework DPS considerando a EC consegue auxiliar a teoria e a prática apresentando resultados sinérgicos e que vem de encontro a Agenda 2030 e as 17 ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) que é um compromisso global adotado por diversos Países e pela ONU (Organização das Nações Unidas).

Para os ganhos econômicos, os maiores impactos foram relacionados aos ganhos de mercado e aumento de participação relacionados a novo conceito de recondicionamento, atendimento de novas normas e regulamentações para entrada no mercado europeu e rotulagem de descarte. Com a alteração de conceito para implantação da célula de recondicionamento, um leque de novas oportunidades mostrou-se verdadeiro. A empresa não focava neste mercado de Reposição e Aftermarket e com esta alteração a operação no Brasil abriu uma frente única dentro da Corporação já que nenhuma das demais plantas do Grupo atendem este novo Mercado. Para esta alteração de conceito que também acarreta em ganhos econômicos em outras práticas, é necessário um desembolso relativamente grande referente a uma nova linha de montagem para itens recondicionados. Esta nova linha de produto avaliada em R\$500.000,00 é de suma importância para o sucesso deste ganho de mercado relacionado às práticas

impactadas. Porém, apesar do investimento relativamente alto, a estimativa de ganho é maior que o investimento se analisar a PDPS_04 em separado. Para a análise dos ganhos econômicos, o cálculo de retorno sobre o investimento mostrou-se totalmente viável já que demonstra de forma objetiva o quanto se espera de ganho versus o que necessita ser investido. Os resultados econômicos referente à aplicação das Práticas de Desenvolvimento de Produto Sustentável, mesmo sendo comparativamente mais onerosa à empresa por ser uma solução mais cara que atual, mostrou-se totalmente viável com um Retorno sobre Investimento estimado em 0,46 ou 5,5 meses. O %ROI também mostrou-se como um grande percentual de ganho com resultado de 219,31% demonstrando mais uma vez a viabilidade econômica das alterações e melhorias propostas. Na literatura existente, Rodrigues et al. (2018) ofereceu uma perspectiva sobre como a implementação do ecodesign pode potencialmente afetar os principais resultados de desempenho das empresas e estabelecendo um modelo lógico para o ecodesign porém sem quantificar de forma ampla os ganhos econômicos e sim os operacionais. Já Pigozzo et al. (2013) apresentou um modelo de maturidade do ecodesign, e uma estrutura que visa apoiar a implementação do processo de ecodesign com base em um diagnóstico do perfil de maturidade atual do desenvolvimento de produtos porém sem aplicar na prática e quantificar os ganhos econômicos. Simões et al. (2016) demonstrou as perspectivas ambientais e econômicas, e não apenas tecnológicas no desenvolvimento sustentável minimizando os impactos ambientais e o custo de um produto através de considerações de seleção de materiais adequados e de design ainda na fase de desenvolvimento porém focou apenas na seleção de materiais e não nos ganhos econômicos como um todo. Na prática, as PDPS_02 referente a durabilidade mostrou ganhos econômicos expressivos na redução de custo da solução antiga de gaxetas em borracha para a atual solução em gaxetas de termoplástico. Já na PDPS_04 foi a de maior ganho no conceito de novo produto para um novo mercado seguido pelas práticas de rotulagem e normas e regulamentações já que todas se baseavam em novos mercado o que se traduziu como novos produtos com comparativo em base zero. Os demais ganhos econômicos, apesar de não serem considerados altos, ajudaram na conscientização da alta direção em abraçar e implementar esta pesquisa na prática. Portanto os ganhos econômicos do DPS considerando a EC inova o estado da arte pois adiciona à literatura existente mais ideias de implementação para novas pesquisas e estudos de caso. Também inova a prática já que os ganhos econômicos são totalmente visíveis e mensuráveis pela empresa, conseguindo checar a qualquer hora se os investimentos realizados

atenderam as expectativas da alta gerência. Contribui também com a Sociedade já que os ganhos econômicos podem ser revertidos em partes para a comunidade onde a empresa está localizada através de ações sociais efetivas, fazendo com que a sociedade abrace a empresa, integrando-a como uma parte preponderante para o convívio da Sociedade ao redor.

Os ganhos ambientais também demonstradas, na tabela 25, identificou várias ações relacionadas às PDPS's que impactaram substancialmente nos resultados obtidos. Destacou-se principalmente o descarte de alumínio como sendo o grande vilão da operação de manufatura atualmente referente ao cavaco e no descarte de carcaças em fim de vida útil, já que este item é o de maior volume e massa, bem como as embalagens tanto em papelão quanto madeira que possuem volumes altos e toda uma estrutura baseada no descarte. Assim como as variáveis de ganho econômico, o mesmo trabalho para as variações ambientais foi realizado com o levantamento e identificação das variáveis de ganhos ambientais. A redução no consumo de energia foi identificada e a redução implementada. A minimização da emissão de gases de efeito estufa (GEE), a fim de medir as reduções em várias práticas. A redução do consumo de água foi outro ponto analisado já que este é um dos recursos naturais mais preciosos para o meio ambiente. Apesar do ganho não ter sido tão grande em litros quando comparado com outras empresas, a redução foi realizada. Do mesmo modo que indicou-se o descarte de alumínio como sendo o grande vilão da empresa em relação no campo econômico, pôde-se elencar como grande vilão do campo ambiental a redução na geração de resíduos. Diversas práticas foram analisadas e contabilizadas no campo ambiental onde a quantidade de resíduos gerados tornou-se indicador chave para medição da eficiência dos seus processos e fim de vida do produto. Ainda, a redução no consumo de materiais relacionados aos ganhos ambientais também se mostrou de grande importância e relevância. Outras práticas foram aplicadas e quantificadas e trouxeram grande redução de descarte e consumo, melhorando o desempenho ambiental da empresa. Analisando a literatura existente referente aos ganhos ambientais, Priarone et al. (2023) investigou redução de peso de um componente automotivo para quantificar os resultados da integração de redesenho e substituição de materiais porém trouxe resultados muito ínfimos em relação as demais PDPS. Já Held et al. (2018) realizou uma Survey referente as definições das próprias empresas sobre a compreensão da sustentabilidade ser crucial para o sucesso da implementação da sustentabilidade no processo de DPS com a integração de todos os funcionários e alinhadas as leis e políticas governamentais, com os clientes e a concorrência,

porém não identificou quais ganhos ambientais seriam aprimorados com a melhoria na conscientização. Já Aschehoug et al., (2013) fez um estudo de caso com os resultados de quatro fornecedores noruegueses de móveis e autopeças para a indústria automotiva, identificando as categorias de informações de sustentabilidade que as empresas consideram ser as mais importantes e relevantes para o desenvolvimento de produtos porém da mesma forma não avaliar os ganhos nos três campos de pesquisa que este trabalho apresentou. Assim como Suresh et al. (2016) que com a mesma metodologia integrou o DfE com DfM a fim de garantir o design sustentável de produtos porém os resultados deste trabalho demonstraram que esta seria apenas uma parcela apenas dos ganhos que o DfE traz às empresas. Na prática, a empresa já possuía uma certa consciência ambiental pois alguns fatores de análise como o acompanhamento dos consumos de água e de energia e descarte segregado de embalagens de papelão e cavaco já eram realizadas. Lógico que alguns acompanhamentos destas variáveis já eram exigidas pelos clientes e por normas e regulamentações como a ISO14000 (que a empresa está em fase de homologação) e por algumas leis federais, estaduais e municipais com a Política Nacional de Resíduos sólidos (PNRS). A empresa também acredita que a certificação ISO14000 será facilitada pois as aplicações destes novos conceitos de DPS aplicados na prática cobriram lacunas que existiam na empresa para atendimento total para a certificação. Portanto os ganhos ambientais do DPS considerando a EC inova o estado da arte pois apresentou uma RSL robusta e relativamente nova referente ao DPS com 128 artigos selecionados na RSL sendo que alguns trabalhos foram publicados apenas no último ano. Também inova a prática já que os ganhos ambientais são perceptíveis para a empresa e para os stakeholders principalmente no que tange a melhoria das métricas ambientais que já eram acompanhadas pela empresa e outras novas que ainda não eram acompanhadas. Finalmente, contribui também com a Sociedade já que os ganhos ambientais estão em linha com as 17 ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) da ONU (Organização das Nações Unidas) Tratando-se das práticas de DPS, afirma-se que este estudo atende as ODS número 3 relacionada a Saúde e bem estar, a número 6 de Água Potável e Saneamento, a 8 de Trabalho decente e Crescimento Econômico, a 9 de Indústria, Inovação e Infraestrutura, a 12 de Consumo e Produção Responsáveis, a 13 de Ação contra a Mudança Global do Clima, a 14 da Vida na Água e finalmente a 15 relacionada à Vida Terrestre.

As avaliações dos ganhos sociais possuem características diferentes quando comparadas aos campos econômico e ambiental. Por mais que aparentem possuírem sinergia entre as etapas

sociais e ambientais, avaliação social tem um caráter mais qualitativo e questões como a saúde e segurança dos trabalhadores da empresa e dos usuários do produto final são abordadas porém de não tão fácil mensuração. A prática relacionada a segurança e saúde com a redução de peso do produto antes e depois das aplicações das práticas de DPS traduz um pouco este tipo de análise. Os ganhos em ergonomia e a redução dos riscos de acidentes de queda de peças aos usuários finais e trabalhadores foi reduzido já que a redução de mais de 18% no peso total do produto faz grande diferença na movimentação e aplicação do produto no veículo comercial. Na literatura revisada apresentou-se outros ganhos sociais que podem ser associados aos ambientais mas devem ser contabilizados também qualitativamente. Segundo Mayyas et al. (2012), no caso de descarte em aterros sanitários, os produtos industriais podem apresentar diversos impactos sociais, que afetam diretamente a saúde e a qualidade de vida das comunidades próximas aos locais de descarte, bem como a sociedade como um todo porém não apresentou resultados quantitativos conforme apresentado neste trabalho. Já Schöggel et al. (2017) propôs um Check-list para o DPS que permite a avaliação qualitativa dos aspectos ambientais, econômicos e sociais durante as fases iniciais do desenvolvimento do produto porém sem uma abordagem quantitativa dos ganhos conseguidos com a aplicação da ferramenta DPS. Na prática, esses impactos sociais incluem a contaminação ambiental com substâncias tóxicas e metais pesados e até produtos químicos e solventes que podem vazrar para o solo, água e ar, causando contaminação ambiental. Isso afeta não apenas o meio ambiente, mas também as pessoas que dependem desses recursos naturais para viver, como as que consomem água de fontes locais ou cultivam alimentos próximos aos aterros. Agrava-se ainda à problemas de Saúde Pública com a exposição a substâncias tóxicas presentes nos aterros resultando em uma série de problemas de saúde, como doenças respiratórias, câncer, malformações congênitas, entre outros. O impacto é particularmente forte em comunidades de baixa renda ou em áreas periféricas, que muitas vezes estão mais vulneráveis a esse tipo de risco. São os casos das PDPS_02 e PDPS_06. Para as substâncias tóxicas descartadas no meio ambiente, a PDPS_13 que já havia aparecido nos ganhos ambientais volta a aparecer como ganhos sociais pela mesma explicação dada nos descarte de resíduos. O mesmo caso acontece com a redução da emissão de CO2 no ar que impactam na qualidade do ar, na acidificação atmosférica e formação da camada de ozônio e que da mesma forma impactam a saúde da população e da sociedade e que também se entrelaçam com os ganhos ambientais. Por fim, a redução da utilização de recursos

naturais principalmente não renováveis podem afetar na quantidade de recursos disponíveis, impactando o ser humano e a sociedade. A PDPS_10 com a sugestão da redução de energia para o Estudo de Caso e a PDPS_11 com a sugestão de redução do consumo de água podem ajudar tanto nos campos ambientais e sociais. Finalizando pelos ganhos sociais do DPS considerando a EC inova o estado da arte pois nenhum trabalho quantificou ganhos relacionados ao campo Social ou ergonômico. Também inova a prática já que os ganhos sociais na redução de peso do produto foi factível e real, além dos ganhos na melhoria do ar na Comunidade. A contribuição para a Sociedade e para os usuários finais do produto e seus colaboradores é visível já que a maioria dos colaboradores funcionais da empresa trabalham em um raio menor do que 10 km da empresa, o que gera sensação de bem estar comum para o colaboradores. Outro ponto seria o atendimento de uma das 17 ODS da ONU de número 11 referente a Cidades e Comunidades Sustentáveis,

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO

Os ganhos expressivos demonstrados neste trabalho faz com que a viabilidade econômica, ambiental e social fosse atingida. Neste ponto, a viabilidade econômica é de extrema importância pois impulsionará a tomada de decisão da alta gerência em conduzir as demais implantações ambientais nas empresas e que impactarão positivamente na sociedade.

Pode-se afirmar que os objetivos específicos propostos neste trabalho foram atingidos em sua plenitude. Iniciando pela identificação por meio de Revisão Sistemática de Literatura as práticas para o Desenvolvimento de Produto Sustentável, foram analisadas a literatura proveniente da base de dados e as 23 práticas de *Design for Environment* foram identificadas, o que serviu como base para o restante do trabalho.

Após a definição das práticas, modelos de desenvolvimento foram levantados e estudados onde, após a análise ampla destes modelos existentes, foi possível a proposição de um novo e inédito framework para aplicação prática nas demais empresas do setor automotivo visando a avaliação da Economia Circular e não somente com foco na eliminação do material em fim de vida útil do produto, mas sim em um looping eterno de melhorias de desenvolvimento sustentável. Além do *framework* DPS considerando a EC, foi proposto também um *Check-list* que serviu como guia para a implantação do framework no estudo de caso apresentado.

Para a complementação dos objetivos específicos, foi realizado o estudo de caso abrangendo todos os tópicos descritos acima adotando assim de forma prática o conceito de desenvolvimento de produto sustentável considerando a Economia Circular.

Como conclusão teórica, conseguiu-se uma pesquisa que pode ser adicionada como estado da arte em relação às práticas de desenvolvimento de produto sustentável já que demonstrou passo a passo tudo o que pode ser realizado contemporaneamente a Economia Circular. O *framework* de DPS considerando a Economia Circular será de grande valia em relação ao auxílio em novos Estudos de Caso e as referências bibliográficas já que mais de 128 trabalhos foram analisados durante o processo de Revisão Sistemática da Literatura.

Para a conclusão para a prática, a empresa que deu a oportunidade de empregabilidade do *framework* DPS considerando a EC ficou extremamente satisfeita com os resultados obtidos com as aplicação das Práticas de desenvolvimento de produto sustentável com ganhos bem consideráveis em todos os três campos de análise: econômico, ambiental e social. Serviu como

grande valia pois demonstrou a interligação dos conceitos que antes eram vistos em separado. Muitas empresas ainda possuem um preconceito estabelecido que práticas de desenvolvimento de produtos sustentáveis nos campos ambientais e econômicos traziam apenas gastos adicionais, porém a prática demonstrou ao contrário a partir de ganhos de mercado e inclusões de novos produtos em seu portfolio.

Finalmente, a conclusão para a Sociedade, demonstrou-se pela pesquisa que tanto a empresa quanto a sociedade podem conviver pacificamente no mesmo micro ambiente. A empresa pode tomar iniciativas que auxiliam a sociedade como um todo e, a partir deste momento, gerar um sentimento de confiança mútua que se retroalimenta automaticamente através de mais ações de sustentabilidade conduzidos pela empresa.

Com tudo isto, conseguiu-se atingir o objetivo geral deste trabalho que consistiu em avaliar os ganhos econômicos, ambientais e sociais da adoção do Desenvolvimento de Produto Sustentável considerando a Economia Circular em empresas de autopeças localizadas no Brasil.

As limitações deste trabalho foram relacionados as informações dispostas pela empresa por vezes serem suprimidas devido a questões legais e de Compliance na empresa estudada. Como sugestão de trabalhos futuros, cada uma das 23 práticas de *DfE* apresentadas neste estudo de caso podem virar artigos científico ou trabalhos de Conferências, sendo tratados com maior amplitude e com mais recursos de informações disponibilizados pelas empresas automotivas.

REFERÊNCIAS

- ABRASSART, C., JALLON, F., JEAN, P.; Construction of a DFE approach applied to the automotive industry - Report on the EDIT project. **SAE Technical Papers**, 2000.
- ADDA, S., EPELLY, O., TEULON, H., BENSAHEL, J.-F.; TEIME: A tool for environmental Impacts evaluation in product design. **SAE Technical Papers**, 1997.
- AHMAD, H.M.A.H., ASAAD, M.N., SAAD, R., ITENG, R., ABDUL RAHIM, M.K.I.; Quality management practices and organizational performance: Impact of sustainable product development. **International Journal of Supply Chain Management**, 5 (4), pp. 104–107. 2016.
- AHMAD, H.M.A.H., ITENG, R., SAAD, R., RAHIM, M.K.I.A.; The criteria of sustainable product development and organizational performance. **International Journal of Supply Chain Management**, 7 (5), pp. 497–501. 2018.
- AHMAD, M.A.; Relationship between quality management practices, sustainable product development and organizational performance. **Advances in Environmental Biology**, 8 (9 SPEC. ISSUE 4), pp. 529–535. 2014.
- AIKHUELE, D.O.; Systematic model for lean product development implementation in an automotive related company. **Management Science Letters**, 7 (7), pp. 337–350. 2017.
- AKMAN, G., PIŞKIN, H., KREMER, G.O.; Evaluating eco-design activities of manufacturing companies in a developing country. **Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference**, 9, pp. 995–1001. 2011.
- ALANEME, K.K., AIKULOLA, E.O.; Mechanical and damping behaviour of Al-20Zn based composites reinforced with recycled steel particles. **Materials Today: Proceedings**, 62, pp. S115–S121. 2022.
- ALONSO, J.C., BIGORRA, J., GIRÓ, J.; Integrating LCA and DfE in the design of electrical & electronic products for the Automotive sector. **SAE Technical Papers**, 2001.
- ALONSO, J.C., DOSE, J., FLEISCHER, G., RODRIGO, J., SCHMIDT, W-P.; Electrical and electronic components in the automotive sector: Economic and environmental assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 12(5), pp. 328–335. 2007.
- AL-OQLA, F.M., SAPUAN, S.M., ISHAK, M.R., NURAINI, A.A.; A decision-making model for selecting the most appropriate natural fiber - Polypropylene-based composites for automotive applications. **Journal of Composite Materials**, 50 (4), pp. 543–556. 2016.

ANAND, K.R., RAMALINGAIAH, PARTHIBAN, P.; Fuzzy quantitative approach to prioritize green factors in supply chain. **Applied Mechanics and Materials**, 592-594, pp. 2645–2653. 2014.

ANDRIANKAJA, H., BERTOLUCI, G., MILLET, D.; Development and integration of a simplified environmental assessment tool based on an environmental categorization per range of products. **Journal of Engineering Design**, 24 (1), pp. 1–24. 2013.

ANDRIANKAJA, H., VALLET, F., LE DUGOU, J., EYNARD, B.; A method to eco-design structural parts in the transport sector based on product life cycle management. **Journal of Cleaner Production**, 94, pp. 165–176. 2015.

ANTONACCI, A., DEL PERO, F., BALDANZINI, N., DELOGU, M.; Multi-objective Methodology for Design and Environmental Analysis in the Automotive Field. **SAE International Journal of Materials and Manufacturing**, 15 (4). 2022.

ARDAYFIO, D.D.; Optimum methods on the critical path in product creation. **SAE Technical Papers**, 2000.

ASCHEHOUG, S.H., BOKS, C., AASLAND, K.E.; Building sustainability knowledge for product development and design - Experiences from four manufacturing firms. **Progress in Industrial Ecology**, 8 (1-2), pp. 45–66. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro: 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520** : informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15287** : informação e documentação: projeto de pesquisa: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

AVERSA, R., PETRESCU, R.V.V., PETRESCU, F.I.T., APICELLA, A.; Biomimetic and evolutionary design driven innovation in sustainable products development. **American Journal of Engineering and Applied Sciences**, 9 (4), pp. 1027–1036. 2016.

BADIDA, M., SOBOTOVA, L., KRALIKOVA, R., HURAJT, M., KONKOLY, T.; Determination of optimal production volume responding environmental criteria. **MM Science Journal**, 2016 (OCTOBER), pp. 1118–1120. 2016.

BI, Y., LI, S., WAGNER, D., REID, T.; The impact of vehicle silhouettes on perceptions of car environmental friendliness and safety in 2009 and 2016: A comparative study. **Design Science**, 3, e 23. 2017.

- BIGORRA, J., ALONSO, J.C., GIRÓ, J., CASTELLS, F.; Best practices in the application of LCA and DfE methodologies in the design of new products. **SAE Technical Papers**, 1999.
- BOIX RODRÍGUEZ, N., MORONI, F., LUTEY, A.H.A., FAVI, C.; Sustainable design and life cycle engineering of adhesive joints for polymeric products: assessment of surface activation technologies. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 130 (3-4), pp. 1279–1306. 2024.
- BOORSMA, N., POLAT, E., BAKKER, C., PECK, D., BALKENENDE, R.; Development of the Circular Product Readiness Method in Circular Design. **Sustainability (Switzerland)**, 14 (15), 9288. 2022.
- BRACKE, S., MICHALSKI, J., INOUE, M., YAMADA, T.; CDMF-RELSUS concept: Reliable products are sustainable products - Influences on product design, manufacturing and use phase. **International Journal of Sustainable Manufacturing**, 3 (1), pp. 57–73. 2013.
- BUNJES, A.; Systematic investigations into the molecular and material properties of impact-modified PP recyclates for automotive applications: The results, opinions and conclusions of this publication are not necessarily those of Volkswagen Aktiengesellschaft. **VDI Berichte**, 2418, pp. 601–612. 2023.
- CAUCHICK MIGUEL, P.A. (Coord.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.
- CHEHEBE, J. R. B; Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000. **Qualitymark Editora**. 2007
- CHEN, M.; Automotive Product Recycling: Material Efficiency and Key Technologies. **Zhongguo Jixie Gongcheng / China Mechanical Engineering**, 29 (21), pp. 2615–2625. 2018.
- CIACCI, L., MORSELLI, L., PASSARINI, F., SANTINI, A., VASSURA, I.; A comparison among different automotive shredder residue treatment processes. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 15 (9), pp. 896–906. 2010.
- CROTTY, J., SMITH, M.; Strategic responses to environmental regulation in the U.K. automotive sector: The European union End-of-Life Vehicle Directive and the porter hypothesis. **Journal of Industrial Ecology**, 10 (4), pp. 95–111. 2006.
- DEWULF, W., DUFLOU, J., SAS, P., VAN BRUSSEL, H.; Concepts for pro-active life cycle design support tools. **SAE Technical Papers**, 2000.
- DHINGRA, R., NAIDU, S., UPRETI, G., SAWHNEY, R.; Sustainable nanotechnology: Through green methods and life-cycle thinking. **Sustainability**, 2 (10), pp. 3323–3338. 2010.

EDDY, D.C., KRISHNAMURTY, S., GROSSE, I.R., WILEDEN, J.C., LEWIS, K.E.; A predictive modelling-based material selection method for sustainable product design. **Journal of Engineering Design**, 26 (10-12), pp. 365–390. 2015.

EISENHARDT, K. M., Building theories from case study research. **Academy of management Review**, 14 (4), 532-550. 1989.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe – Report. **McKinsey's Center for Business and the Environment**. 2015.

ERMOLAEVA, N.S., CASTRO, M.B.G., KANDACHAR, P.V.; Materials selection for an automotive structure by integrating structural optimization with environmental impact assessment. **Materials and Design**, 25 (8), pp. 689–698. 2004.

FINKBEINER, M., HOFFMANN, R., RUHLAND, K., LIEBHART, D., STARK, B.; Application of life cycle assessment for the environmental certificate of the Mercedes-Benz S-Class. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 11 (4), pp. 240–246. 2006.

FINKBEINER, M., RUHLAND, K., CETINER, H., STARK, B.; Life cycle engineering and Design for Environment of the Mercedes-Benz C-Class. **SAE Technical Papers**, 2001.

FISCHER, A., ROMMEL, S., BAUERNHANSL, T.; New fiber matrix process with 3D fiber printer – A strategic in-process integration of endless fibers using fused deposition modeling (FDM). **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, 411, pp. 167–175. 2013.

FLEISCHER, G., SCHMIDT, W.-P.; Iterative screening LCA in an Eco-Design tool. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 2 (1), pp. 20–24. 1997.

GARCIA, J., MILLET, D., TONNELIER, P.; State of the art in the eco-design field: Toward specifications for the integration of eco-design in the automotive sector. **ASME 2012 11th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis**, ESDA 2012, 3, pp. 637–646. 2012.

GHISELLINI, P.; A review on Circular Economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, 114, 11–32, 2016.

GHOLAMI, H., HASHEMI, A., LEE, J.K.Y., ABDUL-NOOR, G., SALAMEH, A.A.; Scrutinizing state-of-the-art I4.0 technologies toward sustainable products development under fuzzy environment. **Journal of Cleaner Production**, 377, 134327. 2022.

- GIBSON, T.L., KUMAR, S., WHEELER, C.S.; Evaluation of life cycle assessment software for automotive applications. **SAE Technical Papers**, 2001.
- GIL, A. C.; **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GMELIN, H., SEURING, S.; Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities. **International Journal of Production Economics**, 154, pp. 166–177. 2014.
- GREIF, A., DOSE, J., FLEISCHER, G., MAAS, H., SCHMIDT, W.-P.; Eco-design of automotive electrical and electronic system – The SEES project – **Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**, LCE 2006, pp. 293–298. 2006.
- GUIMARÃES, J.C.F., SEVERO, E.A., JABBOUR, C.J.C., DE SOUSA JABBOUR, A.B.L., ROSA, A.F.P.; The journey towards sustainable product development: why are some manufacturing companies better than others at product innovation? **Technovation**, 103, 102239. 2021.
- GUPTA, S., SONI, U., KUMAR, G.; Green supplier selection using multi-criterion decision making under fuzzy environment: A case study in automotive industry. **Computers and Industrial Engineering**, 136, pp. 663–680. 2019.
- HANKEL, D., JÜRGENS, G.; Knowledge management in Design for Environment (DfE) supported by an intranet-based information system. **ITEE 2005 - 2nd International ICSC Symposium on Information Technologies in Environmental Engineering, Proceedings**, pp. 218–225. 2005.
- HELD, M., WEIDMANN, D., KAMMERL, D., ...OMER, M., LINDEMANN, U.; Current challenges for sustainable product development in the German automotive sector: A survey based status assessment. **Journal of Cleaner Production**, 195, pp. 869–889. 2018.
- HOCKERTS, K., ADDA, S., TEULON, H., KIRKPATRICK, N., AUMÔNIER, S.; Beyond life cycle assessment, an integrative design for environment approach for the automotive industry. **SAE Technical Papers**, 1998.
- HOLMBERG, S.; ENQUIST, B.; THILDERKVIST P. Evaluation of sheet metal formability by tensile tests, **Journal of Materials Processing Technology** 145. 72 – 83 p. 2004.
- HOOK, E., VAN DER VORST, R.; Exploring the designer's world (A LucasVarity approach to environmental guidance for design engineers). **SAE Technical Papers**, 1997.

HOPKINSON, N., GAO, Y., MCAFEE, D.J.; Design for environment analyses applied to rapid manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 220(10), pp. 1363–1372. 2006.

HOU, M.; Research on the Ecological Performance Index System of Automobile Products Based on End-of-Life Vehicle. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 687 (1), 012193. 2021.

HUNTER, J., FUTORNICK, K.; The globalization of product stewardship. **EM: Air and Waste Management Association's Magazine for Environmental Managers**, (JUNE), pp. 25–29. 2008.

JEKE, L. TAM, E.; Designing for materials recovery: Understanding the liberation of plastics. **Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering**, 2003, pp. 669–678. 2003.

KAVELINE, K.G., ERMOLAEVA, N.S., KANDACHAR, P.V.; Investigation of stochastic properties of the natural fiber mats. **Composites Science and Technology**, 66 (2), pp. 160–165. 2006.

KEIVANPOUR, S., AIT-KADI, D., MASCLE, C.; Automobile manufacturers' strategic choice in applying green practices: joint application of evolutionary game theory and fuzzy rule-based approach. **International Journal of Production Research**, 55 (5), pp. 1312–1335. 2017.

KHAN, H., SCHIAVONE, F., FISHER, J.; Automotive comfort technologies supporting sustainable development. **Society of Plastics Engineers - Global Plastics Environmental Conference GPEC 2006**, pp. 140–155. 2006.

KINCAID, L.E., GEIBIG, J., MILLER, W., SPARKS, J.; Life-cycle management in the automotive supply chain: Results of a survey of Saturn tier I suppliers. **SAE Technical Papers**, 2000.

KOFFLER, C., KRINKE, S., SCHEBEK, L., BUCHGEISTER, J.; Volkswagen slimLCI: A procedure for streamlined inventory modelling within life cycle assessment of vehicles. **International Journal of Vehicle Design**, 46 (2), pp. 172–178. 2008.

LARKIN, J.; Designers envision recyclable components and body panels that clean the air. **Automotive Industries AI**, 186 (10). 2006.

LAWRENCE, P.R.; Design for the environment (DFE) process and training at Ford Motor Company. **SAE Technical Papers**, 1998.

- LEAL, J.M., POMPIDOU, S., CHARBUILLET, C., PERRY, N.; Product Recoverability: A Review of Assessment Methods. **Procedia CIRP**, 69, pp. 710–715. 2018.
- LEE, J.J.; Integrating design for environment (DfE) and extended product responsibility (EPR). **SAE Technical Papers**, 2001.
- LUO, H., SONG, W., ZHOU, W., LIN, X., YU, S.; An Analysis Framework to Reveal Automobile Users' Preferences from Online User-Generated Content. **Sustainability (Switzerland)**, 15 (18), 13336. 2023.
- MAGNUSSON, T., BERGGREN, C.; Environmental innovation in auto development - managing technological uncertainty within strict time limits. **International Journal of Vehicle Design**, 26 (2-3), pp. 101–115. 2001.
- MALHOTRA, N.; **Pesquisa de Marketing**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- MALTESE, S., DELOGU, M., ZANCHI, L., BONOLI, A.; Application of design for environment principles combined with LCA methodology on automotive product process development: The case study of a crossmember. **Smart Innovation, Systems and Technologies**, 68, pp. 211–221. 2017.
- MANFRINATO, W.; VIDAL, E.; BRANCALION, P.; Como compensar suas emissões no transporte do dia a dia: Como calcular as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) produzidas no transporte de veículos? Como compensar suas emissões utilizando-se de árvores ou florestas? **Esalq – Lastrop**, Piracicaba, p. 1-6. 2019.
- MANI, M., JOHANSSON, B., LYONS, K.W., SRIRAM, R.D., AMETA, G.; Simulation and analysis for sustainable product development. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 18 (5), pp. 1129–1136. 2013.
- MARTINS, G. A.; Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisa no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações**, 2 (2), 9-18. 2008.
- MASSARI, G.F., GIANNOCARO, I. Adopting GRI Standards for the Circular Economy strategies disclosure: the case of Italy. **Sustainability Accounting, Management and Policy Journal**, 2023.
- MATHIVATHANAN, D., AGARWAL, V., MATHIYAZHAGAN, K., SAIKOUK, T., APPOLLONI, A.; Modeling the pressures for sustainability adoption in the Indian automotive context. **Journal of Cleaner Production**, 342, 130972. 2022.

MAY, G., TAISCH, M., KERGA, E.; Assessment of sustainable practices in new product development. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, 384 AICT, pp. 437–447. 2012.

MAYYAS, A.T., MAYYAS, A., QATTAWI, A., OMAR, M.A.; Sustainable lightweight vehicle design: A case study of eco-material selection for body-in-white. **International Journal of Sustainable Manufacturing**, 2 (4), pp. 317–337. 2012.

MEDINA, H.V.; Clean technologies for recycling: A case study on automotive batteries in Brazil. **Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development**, pp. 199–208. 2006.

MERTICARU, V., NAGIT, G., PRALEA, B., OANA, R.; Convergent use of advanced CAD/CAE/CAM capabilities for sustainable integrated engineering. **Academic Journal of Manufacturing Engineering**, 12 (2), pp. 43–48. 2014.

MÉXAS, M.P., QUELHAS, O.L.G., COSTA, H.G.; Prioritization criteria for enterprise resource planning systems selection for civil construction companies: A multicriteria approach. **Canadian Journal of Civil Engineering**. 39 (8), pp. 855–866. 2012.

MILES, M. M., HUBERMAN, A. M.; **Qualitative data analysis: an expanded source book**. 2. ed. Thousand Oaks: Sage Publications. 1994.

MUÑOZ, I., RIERADEVALL, J., DOMÈNECH, X., GAZULLA, C.; Using LCA to assess eco-design in the automotive sector: Case study of a polyolefinic door panel. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 11 (5), pp. 323–334. 2006.

MURRAY, A., SKENE, K., HAYNES, K.; The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, 140 (3), 369-380. 2017.

MUTTIL, N., CHAUDHARY, S., PRASAD, K.E., SINGH, S.K.; Waste Tyre Recycling: A Emerging Applications with a Focus on Permeable Pavements. **Indian Journal of Engineering and Materials Sciences**, 29 (6), pp. 707–713. 2022.

OLIVEIRA NETO, G. C., CHAVES, L. E., VENDRAMETTO, O.; Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. **Revista Exacta**, V. 8, nº 1. 2014.

OLSON, W.W., SUTHERLAND, J.W.; National science foundation workshop on environmentally benign manufacturing for the transportation industries. **SAE Technical Papers**, 2002.

OSPINA, J.L., PAUL, M., HICKEY, S., VIDORRETA, I., YANG, M.; D4R laptop - Industrial networks and eco-design to maximize reuse and eliminate waste. **Electronics Goes Green 2012+, ECG 2012 - Joint International Conference and Exhibition, Proceedings**, 6360503. 2012.

PIERINI, M., SCHIAVONE, F.; From life cycle assessment to systematic integration of eco-design criteria inside product development process: Experience at a first tier automotive supplier. **Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering**, LCE 2006, pp. 201–206. 2006.

PIGOSSO, D.C.A., ROZENFELD, H., MCALOONE, T.C.; Ecodesign maturity model: A management framework to support eco-design implementation into manufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, 59, pp. 160–173. 2013.

PINOSOVÁ, M., BADIDA, M., MORAVEC, M.; Environmental evaluation of mechanical engineering products in their conceptual phase. **ICTEP 2019 - International Council of Environmental Engineering Education - & quot; Technologies of Environmental Protection - Proceedings**, pp. 216–220, 8968982. 2019.

PRENDEVILLE, S.M., O'CONNOR, F., BOCKEN, N.M.P., BAKKER, C.; Uncovering eco-design dilemmas: A path to business model innovation. **Journal of Cleaner Production**, 143, pp. 1327–1339. 2017.

PRIARONE, P.C., CATALANO, A.R., SETTINERI, L.; Additive manufacturing for the automotive industry: on the life-cycle environmental implications of material substitution and lightweighting through re-design. **Progress in Additive Manufacturing**, 8 (6), pp. 1229–1240. 2023.

PRODANOV, C. C., FREITAS, E. C.; **Metodologia do trabalho Científico: Métodos e Técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Universidade Feevale, Rio Grande do Sul. 2013.

PRZEKOP, L.A., KERR, S.; Life cycle tools for future product sustainability. **IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, pp. 23–26. 2004.

RATHORE, P., KOTA, S., CHAKRABARTI, A.; Sustainability through remanufacturing in India: A case study on mobile handsets. **Journal of Cleaner Production**, 19 (15), pp. 1709–1722. 2011.

RODRIGUES, V.P., PIGOSSO, D.C.A., ANDERSEN, J.W., MCALOONE, T.C.; Evaluating the potential business benefits of eco-design implementation: A logic model approach. **Sustainability (Switzerland)**, 10 (6), 2011. 2018.

- RODRIGUES, V.P., PIGOSSO, D.C.A., MCALOONE, T.C.; Business cases for ecodesign implementation: a simulation-based framework. **Journal of Cleaner Production**, 234, pp. 1045–1058. 2019.
- ROMERO, V.J., SANCHEZ-LITE, A., LIRAUT, G.; Development of a Multi-Criteria Design Optimization Methodology for Automotive Plastics Parts. **Polymers**, 14 (1), 156. 2022.
- ROSA, P., SASSANELLI, C., TERZI, S.; Circular economy in action: Uncovering the relation between circular business models and their expected benefit. **Proceedings of the Summer School Francesco Turco**, 228-235, 2018.
- ROWLANDS, G., BELL, J.; Integrating life cycle assessment with design for environment. **SAE Technical Papers**, 1997.
- ROZENFELD, H., FORCELLINI, F. A., AMARAL D. C., TOLEDO, J. C.; Gestão de desenvolvimento de produtos. 1, Editora: SaraivaUni. Brasil. 2006.
- SCHIAVONE, F., PIERINI, M., ECKERT, V.; Strategy-based approach to eco-design: Application to an automotive component. **International Journal of Vehicle Design**, 46 (2), pp. 156–171. 2008.
- SCHISCHKE, K., GRIESE, H., MUELLER, J., STOBBE, I. State of the art in material declarations: Compliance management and usability for eco-design. **Proceeding of 2005 International Conference on Asian Green Electronics- Design for Manufacturability and Reliability**, 2005AGEC, 2005, pp. 25–30, 1452309. 2005.
- SCHMIDT, S.; Preventive optimization of costs and quality for the total life cycle-design for manufacture, assembly, service, Environment (DFMA). **SAE Technical Papers**, 1998.
- SCHMIDT, S.; Team-oriented optimization of costs, quality and environmental impact for the complete life cycle. **IEEE International Engineering Management Conference**, 3, pp. 988–992. 2004.
- SCHOECH, H., FLORIN, H., KREISSIG, J., EYERER, P.; LCA based design for environment in the automotive industry. **SAE Technical Papers**, 2000.
- SCHOECH, H., FLORIN, H., BETZ, M.; Design for environment (DfE) - Important tool towards an environmental efficient product development. **SAE Technical Papers**, 2001.
- SCHÖGGL, J.-P., BAUMGARTNER, R.J., HOFER, D.; Improving sustainability performance in early phases of product design: A checklist for sustainable product development tested in the automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, 140, pp. 1602–1617. 2017.

- SCUR, G., DE MELLO, A.M., SCHREINER, L., JOSÉ DAS NEVES, F.; Eco-design requirements in heavyweight vehicle development – a case study of the impact of the Euro 5 emissions standard on the Brazilian industry. **Innovation and Management Review**, 16 (4), pp. 404–422. 2019.
- SEGARRA-ONÃ, M., PEIRÓ-SIGNES, A., PAYÁ-MARTÍNEZ, A.; Factors influencing automobile firms' eco-innovation orientation. **EMJ - Engineering Management Journal**, 26 (1), pp. 31–38. 2014.
- SHAHARUZAMAN, M.A., SAPUAN, S.M., MANSOR, M.R., ZUHRI, M.Y.M.; Decision support strategy in selecting natural fiber materials for automotive side-door impact beam composites. **Journal of Renewable Materials**, 7 (10), pp. 997–1010. 2019.
- SHUKLA, O.J., JANGID, V., SIDDH, M.M., KUMAR, R., SONI, G.; Evaluating key factors of sustainable manufacturing in Indian automobile industries using Analytic Hierarchy Process (AHP). **2017 International Conference on Advances in Mechanical, Industrial, Automation and Management Systems, AMIAMS 2017 - Proceedings**, pp. 42–47, 8069186. 2017.
- SIMÕES, C.L., FIGUEIRÊDO DE SÁ, R., RIBEIRO, C.J., ...PONTES, A.J., BERNARDO, C.A.; Environmental and economic performance of a car component: Assessing new materials, processes and designs. **Journal of Cleaner Production**, 118, pp. 105–117. 2016.
- SINGH, P.K., SARKAR, P.; A framework based on fuzzy Delphi and DEMATEL for sustainable product development: A case of Indian automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, 246, 118991. 2020.
- SMITH, M.; A commentary on future material trends in the automotive industry: Environmental regulatory pressure and 'End Of Life' design issues. **Automotive Industry: Technical Challenges, Design Issues and Global Economic Crisis**, pp. 191–203. 2011.
- SUBHARAJ, C., NATARAJAN, U., HYACINTH SUGANTHI, X.; Sustainable eco-design for fixture index mechanism in crankshaft speed sensor assembly line. **Advances in Mechanical Engineering**, 11 (7). 2019.
- SURESH, P., RAMABALAN, S., NATARAJAN, U.; Integration of DFE and DFMA for the sustainable development of an automotive component. **International Journal of Sustainable Engineering**, 9 (2), pp. 107–118. 2016.
- SWARR, THOMAS E., LEGARTH, JENS B., HUANG, ELLEN A.; Implementation of design for environment at a diversified OEM. **IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, pp. 34–37. 1999.

TANG, A., LEE, W.C., ST. PIERRE, S., LIU, K., CHEN, C.C.; CAE based die face engineering development to contribute to the revitalization of the tool & die industry. *AIP Conference Proceedings*, 778 A, pp. 50–59. 2005.

TIAN, J., CHEN, M.; Sustainable design for automotive products: Dismantling and recycling of end-of-life vehicles. *Waste Management*, 34 (2), pp. 458–467. 2014.

TORRES, L. V., OLIVEIRA NETO, J. D., KASSAI, J. R., KASSAI, S.; Gestão de custos na cafeicultura – uma experiência na implantação de projetos. *Anais do Congresso Brasileiro de Custos – ABC* – Recife, PE, Brasil. 2000.

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**. São Paulo, 2008.

VENKATESH, G.S., DEB, A., KARMARKAR, A., GURUMOORTHY, B.; Eco-friendly wood polymer composites for sustainable design applications. *CIRP Design 2012 - Sustainable Product Development*, pp. 399–408. 2013.

VESHAGH, A., LI, W.; Survey of ECO design and manufacturing in automotive SMEs. *Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, LCE 2006, pp. 305–310. 2006.

VEZZOLI, C., MANZINI, E.; **Design for environmental sustainability**. 1. Ed. London: Springer; 2008.

VILLANUEVA-REY, P., BELO, S., QUINTEIRO, P., ARROJA, L., DIAS, A.C.; Wiring in the automobile industry: Life cycle assessment of an innovative cable solution. *Journal of Cleaner Production*, 204, pp. 237–246. 2018.

VINODH, S., KAMALA, V., JAYAKRISHNA, K.; Integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development. *Applied Mathematical Modelling*, 38 (11-12), pp. 2758–2770. 2014.

XIAO, J., HUANG, Y.; Design of sustainable multifunctional nanocoatings: A goal-driven multiscale systems approach. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19 (4), pp. 666–673. 2011.

WEHNER, D., HOSSFELD, M., HELD, M.; Turning the CPPS of the World's Largest Automotive Research Factory ARENA2036 into a Data Gold Mine for Eco-Design. *Technologies and Eco-innovation towards Sustainability I: Eco Design of Products and Services*, pp. 35–47. 2019.

- WENGLINSKI, D., FRITSCH, M., RUSSELL, A., NIELSEN, R.; Implementing DfE in a tier 1 auto supplier: Investigating door panel design. **SAE Technical Papers**, 2002.
- YAMATO, M.; A study of EMS and LCA application in automobile eco design. **SAE Technical Papers**. 1998.
- YIN, R.Y. **Estudo de caso - planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- YOUNG, S.B., BRADY, K., RUSSELL, A.J.; Supply chain management: Responding to 'offsite' environmental management. **SAE Technical Papers**, 2001.
- YOUNG, S.B., NOBLE, D., RUSSELL, A.J.; Supply chain management: From strategy to implementation. **IEEE International Symposium on Electronics and the Environment**, pp. 258–263. 2001.
- ZHANG, C., LIU, Y., QIAN, Y., BAO, H. An optimization framework of electric vehicle (EV) batteries for product eco-design. **Procedia CIRP**, 90, pp. 366–371. 2020.
- ZHANG, L., SHAO, S., CHEN, S., JIANG, R., LI, Z.; Individualized and accurate eco-design knowledge push for designers: a CAD-based feedback knowledge push method for the eco-design. **Concurrent Engineering Research and Applications**, 29 (2), pp. 153–168. 2021.
- ZHOU, L., HU, S.J., LIN, G., STOUGHTON, T.B.; Evolutionary stamping die development using morphing technology. **Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME**, 37, pp. 317–324. 2009.
- ZHU, Y., KEOLEIAN, G.A., COOPER, D.R.; A parametric life cycle assessment model for ductile cast iron components. **Resources, Conservation and Recycling**, 189, 106729. 2023.