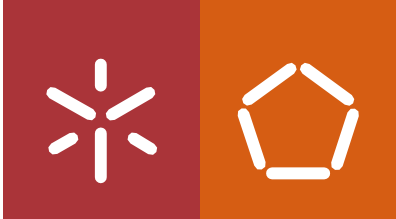




Mariana Sofia Gomes Lima

**Avaliação da sustentabilidade de
peças plásticas injetadas e estudo do
uso de biomateriais**

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Mariana Sofia Gomes Lima

**Avaliação da sustentabilidade de peças
plásticas injetas e estudo do uso de
biomateriais**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professora Doutora Carla Isabel Domingues Correia Martins
Professor Doutor Ricardo João Ferreira Simões
Engenheiro Tiago Barbosa

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

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



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual
CC BY-NC-SA

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

AGRADECIMENTOS

Com o encerrar deste ciclo de 5 anos de percurso académico, chega o momento de agradecer a todos aqueles que estiveram presentes e foram essenciais nesta jornada.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, que sempre me transmitiram valores como o trabalho árduo, a dedicação e perseverança. Por acreditarem e incentivarem, incondicionalmente todos os meus objetivos definidos.

À minha madrinha por sempre me acompanhar em todas as etapas da minha vida, por me apoiar nos melhores e piores momentos e nunca duvidar das minhas capacidades. Ao meu irmão e à minha prima Filipa por todo o apoio, confiança e bons momentos. À minha restante família por toda a força e carinho e em especial aos meus avós paternos por tudo o que são para mim ao longo da minha vida.

Não poderia deixar de agradecer aqueles que formam o meu caminho no desconhecido, as melhores pessoas que a universidade me deu, Maria João Marinho, Daniela Ferreira, Maria Costa, Daniela Carneiro, Sara Ribeiro, Venâncio e Pedro Belo, obrigada por toda a amizade ao longo destes anos.

Às minhas amigas, Inês Martins, Lara dá Mesquita, Diana Monteiro e Eliana Gomes por todo o suporte e anos de amizade.

À Fehst Componente, por me proporcionar a oportunidade de executar a dissertação nas suas instalações. Por me proporem um tema desafiante que permitiu colocar-me à prova e alargar bastante a minha área de conhecimento. Aos meus colegas de estágio, em especial à Lara Cerqueira, pela ajuda, companheirismo e por todos os bons momentos passados juntos ao longo deste ano.

Um agradecimento especial ao meu orientador da empresa, Engenheiro Tiago Barbosa, por toda a dedicação e esforço para reunir todas as condições e dados necessários para a realização desta dissertação. Aos meus orientadores da universidade Professora Carla Martins e Professor Ricardo Simões, por toda a disponibilidade, paciência e por todo o conhecimento partilhado durante a realização deste trabalho.

Aos técnicos do Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho, Sr. Manuel, Sr. Mateus, Engenheiro Tiago Fernandes e aos meus colegas Maria Ribeiro e Diogo Cruz pelo apoio na realização do trabalho experimental.

A todos, o meu sincero obrigada!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Avaliação da sustentabilidade de peças plásticas injetadas e estudo do uso de biomateriais

A indústria automóvel sempre enfrentou pressão quanto às suas operações, para cumprir com as exigências de segurança e qualidade, mas atualmente, há um foco crescente nas questões ambientais. Esta pressão não se limita apenas à gestão ambiental das empresas, mas abrange também os processos produtivos e os materiais utilizados no fabrico das peças. A necessidade de reduzir a pegada de carbono e adotar práticas mais sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de metodologias e incentivos que auxiliam na implementação de medidas de consciencialização ambiental.

A presente dissertação apresenta como principais objetivos determinar a pegada de carbono da organização e estudar a viabilidade da substituição de polímeros de origem petrolífera por um polímero de base natural.

Para a realização deste trabalho foi necessário a recolha e análise de dados internos e externos, referentes aos consumos da empresa nas diferentes atividades realizadas na empresa. Para o estudo da viabilidade da possível substituição do polímero, foram realizadas diversas etapas: seleção do biopolímero, caracterização da matéria-prima virgem, caracterização do produto final e avaliação do ciclo de reprocessamento. Por fim, foi efetuada uma análise de custos e cálculo da pegada de carbono da peça em estudo, comparando os custos e o impacto ambiental associado à produção da peça com diferentes materiais.

Com o cálculo da pegada de carbono da organização, obteve-se que no ano de 2023, o impacto ambiental da Fehst para as alterações climática situou-se na ordem de 3671 toneladas de CO₂ equivalente, onde 70% destas emissões corresponde ao âmbito 3, 12% e 18% corresponde ao âmbito 1 e 2, respetivamente. Através da caracterização da matéria-prima virgem, da caracterização mecânica e da avaliação do ciclo de reprocessamento, verificou-se que o PC RE tem um comportamento muito semelhante ao do PC.

Assim, com a realização deste trabalho foi possível concluir que o âmbito 3 é o âmbito com um maior impacto na pegada de carbono da organização. Constatou-se ainda que a substituição do PC RE pelo PC é viável.

Palavras-chave: Pegada de Carbono da Organização, Pegada de Carbono do Produto, Sustentabilidade, Biopolímeros, Emissões de gases com efeito de estufa.

ABSTRACT

Evaluation the sustainability of injected plastic parts and studying the use of biomaterials.

The automotive industry always faced pressure regarding its operations, but currently, there is an increasing focus on environmental issues. This pressure is not limited to the environmental management of companies but also extends to the production processes and materials used in the manufacture of parts. The need to reduce the carbon footprint and adopt more sustainable practices has driven the development of methodologies and incentives that assist in the implementation of environmental awareness measures. Automotive companies must seek the development of more eco-friendly and sustainable processes, both as an economic strategy and to mitigate their environmental impact.

The main objectives of this dissertation are to calculate the organization's carbon footprint and to study the feasibility of replacing petroleum-based polymers with a natural-based polymer in the production of a particular part.

To carry out this work, it was necessary to collect and analyse internal and external data on the company's consumption in the different activities carried out in the company. To study the feasibility of possibly replacing the polymer, several stages were carried out: selection of the biopolymer, characterization of the virgin raw material, characterization of the product and assessment of the reprocessing cycle. Finally, a cost analysis and calculation of the carbon footprint of the part under study was carried out, comparing the costs and environmental impact associated with producing the part with different materials.

The calculation of the organisation's carbon footprint showed that in 2023, Fehst's environmental impact on climate change would be in the order of 3671 tonnes of CO₂ equivalent, where 70% of these emissions correspond to Scope 3, 12% and 18% correspond to Scope 1 and 2, respectively. Through characterization of the virgin raw material, mechanical characterization and evaluation of the reprocessing cycle, it was found that PC RE behaves very similarly to PC

As a result of this work, it was possible to conclude that scope 3 is the scope with the greatest impact on the organisation's carbon footprint. It was also found that replacing PC RE with PC is feasible.

Keywords: Organization's Carbon Footprint, Product Carbon Footprint, Sustainability, Biopolymers, Greenhouse Gas Emissions.

ÍNDICE

Direitos de Autor e Condições de Utilização do Trabalho por Terceiros.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Declaração de Integridade	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Símbolos	xvii
Lista de Tabelas	xviii
1. Introdução	1
1.1 Empresa.....	2
1.2 Objetivos	5
1.3 Metodologia	5
1.4 Estrutura da Dissertação	7
2. Conceitos Teóricos.....	8
2.1 Plásticos na Indústria Automóvel	8
2.2 Desenvolvimento Sustentável	11
2.3 Pegada de Carbono	13
2.4 Biopolímeros	17
3. Pegada de Carbono da Organização	21
3.1 Pegada de Carbono da Empresa	21
3.1.1 Âmbito 1	22
3.1.2 Âmbito 2	25
3.1.3 Âmbito 3	27

3.2	Análise da Pegada de Carbono da Empresa e Identificação de Áreas Críticas	37
3.3	Oportunidades	39
4.	Utilização de Biopolímeros Como Medida Preventiva.....	41
4.1	Caso de estudo.....	41
4.2	Seleção de Materias Alternativos: Biopolímero	42
4.3	Processamento e Caracterização dos Materiais em Estudo	43
4.3.1	Processamento	43
4.3.2	Caracterização dos Materias	45
4.3.2.1.	Caracterização da Matéria-Prima virgem	46
4.3.2.2.	Caracterização Estética da peça.....	49
4.3.2.3.	Caracterização Mecânica	50
4.4	Apresentação e Análise de Resultados.....	52
4.4.1	Caracterização da Matéria-Prima Virgem	52
4.4.2	Caracterização Estética da Peça	54
4.4.3	Caracterização Mecânica	55
4.5	Avaliação do ciclo de reprocessamento	57
5.	Influência dos biopolímeros no valor da pegada de carbono.....	66
5.1	Análise de Custos	66
5.2	Pegada de Carbono do Produto.....	67
5.2.1	Produção da Matéria-Prima.....	68
5.2.2	Aquisição da Matéria-Prima	68
5.2.3	Processamento da Matéria-Prima.....	69
5.2.4	Transporte/Distribuição.....	70
6.	Conclusão.....	72
7.	Trabalhos futuros.....	75

Referências	76
Apêndice	83
Apêndice I- Fator de emissão utilizado em cada categoria da PCO	83
Apêndice II- Curvas e Resultados Obtidos nos Três Ensaio de DSC.....	86
Apêndice III- Gráficos tensão vs. deformação dos 10 ensaios por ciclo de reprocessamento	87
Apêndice IV- Representação dos provetes após ensaio de tração	91
Apêndice VI- Imagem SEM	100
Apêndice VII- Cálculo intermédio da análise de custos	102
Apêndice VIII- Cálculos intermédios e Fator de Emissão Utilizado em cada categoria da PCP	103
Anexo	105
Anexo I- Tipologias dos Resíduos Tratados.....	105
Anexo II- Ficha Técnica PC Makrolon 2405.....	106
Anexo III- Ficha Técnica PC Makrolon 2405 RE	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ATR	Reflectância Total Atenuada
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ eq	Dióxido de Carbono Equivalente
DSC	Calorimetria Diferencial de Varrimento (<i>Differential Scanning Calorimetry</i>)
FA	Fator de Alocação
FE	Fator de Emissão
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (<i>Fourier-Transformed Infrared Spectroscopy</i>)
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GGP	Protocolo de Gases com Efeito de Estufa (<i>Greenhouse Gas Protocol</i>)
ISCC	<i>Internacional Sustainability e Carbon Certification</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização (<i>International Organization for Standardization</i>)
LHD	Veículos de condução à esquerda (<i>Left Hand Drive</i>)
MFI	Índice de Fluidez (<i>Melt Flow Index</i>)
N ₂ O	Óxido Nitroso
NOK	Não OK
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OEM's	<i>Original Equipment Manufacturers</i>
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PCO	Pegada de Carbono da Organização ou CCF (<i>Corporate Carbon Footprint</i>)
PCP	Pegada de Carbono do Produto
PP	Polipropileno
PPA	<i>Power Purchase Agreement</i>
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinilo
RHD	Veículo de condução à direita (<i>Right Hand Drive</i>)

SEM	Microscopia Eletrónica de Varrimento
TGA	Análise Termogravimétrica (<i>Thermogravimetric analysis</i>)
UE	União Europeia
UNDP	Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UV	Ultravioleta
WRI	<i>World Resources Institute</i>
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processos de fabrico na empresa	4
Figura 2. Metodologia do trabalho	6
Figura 3. Matrículas de automóveis ligeiros de passageiros em Portugal no ano de 2023 por tipo de combustível	9
Figura 4. 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNICEF, 2023)	11
Figura 5. Pegada de Carbono da Organização ao longo da cadeia de valor (Iberdrola, s.d.)	15
Figura 6. Emissões de CO ₂ resultantes da produção de diferentes polímeros (Barrillari & Chini, 2020)	17
Figura 7. Classificação de polímeros de acordo com a sua origem e degradabilidade (Silva, 2023)	18
Figura 8. Limites organizacionais	21
Figura 9. Consumo de combustível nos meses de 2023	24
Figura 10. Consumos mensais de energia elétrica	26
Figura 11. Contribuição de cada subcategoria nas emissões do âmbito 3	36
Figura 12. Contribuição de cada âmbito para a PCO	38
Figura 13. Contribuição de cada categoria individual para a PCO	38
Figura 14. Peça selecionada como caso de estudo	41
Figura 15. Unidade repetitiva do policarbonato	42
Figura 16. Provetes obtidos nos diferentes ciclos de reprocessamento	45
Figura 17. Placas injetadas	45
Figura 18. Aparelho utilizado para a realização do DSC	46
Figura 19. Aparelho utilizado para a realização do FTIR	47
Figura 20. Aparelho utilizado para a realização do MFI	48
Figura 21. Medidor de cor e brilho	49
Figura 22. Escala CIELAB	50
Figura 23. Equipamento utilizado para tracionar os provetes	51
Figura 24. Dimensões dos provetes tracionados	51
Figura 25. Curva DSC do PC RE	52
Figura 26. Espectro FTIR do PC RE	53
Figura 27. Placas injetadas: a) P; b) PC RE	55
Figura 28. Curvas Tensão vs Deformação dos dois materiais	56

Figura 29. Evolução MFI ao longo dos ciclos de reprocessamento	58
Figura 30. Tendência da tensão de cedência, tensão de rotura e módulo de elasticidade do PC com o aumento dos ciclos de processamento.....	59
Figura 31. Tendência da tensão de cedência, tensão de rotura e módulo de elasticidade do PC RE com o aumento dos ciclos de processamento.....	60
Figura 32. Curvas Tensão vs. Deformação do PC	61
Figura 33. Curvas Tensão vs. Deformação do PC RE.....	61
Figura 34. PC 3º ciclo: a) provete 5; b) provete 6	62
Figura 35. PC 4º ciclo: a) provete 3; b) provete	63
Figura 36. PC RE 3º ciclo: a) provete 8; b) provete 9	63
Figura 37. PC RE 4º ciclo: a) provete 3; b) provete 7	63
Figura 38. Imagem obtida por SEM da superfície do provete 5 do 4º ciclo de reprocessamento do PC64	
Figura 39. Imagem obtida por SEM da superfície do provete 4 do 5º ciclo de reprocessamento do PC64	
Figura 40. Imagem obtida por SEM da superfície do provete 7 do 4º ciclo de reprocessamento do PC RE	65
Figura 41. Método de quantificação adotado	67
Figura 42. Curvas DSC do PC RE.....	86
Figura 43. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 1º ciclo.....	87
Figura 44. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 2º ciclo.....	87
Figura 45. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 3º ciclo.....	87
Figura 46. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 4º ciclo.....	88
Figura 47. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 5º ciclo.....	88
Figura 48. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 1º ciclo	88
Figura 49. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 2º ciclo	89
Figura 50. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 3º ciclo	89
Figura 51. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 4º ciclo	89
Figura 52. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 5º ciclo	90
Figura 53. Provetes PC 1º ciclo após ensaio de tração	91
Figura 54. Provetes PC 2º ciclo após ensaio de tração	91
Figura 55. Provetes PC 3º ciclo após ensaio de tração	91
Figura 56. Provetes PC 4º ciclo após ensaio de tração	92
Figura 57. Provetes PC 5º ciclo após ensaio de tração	92

Figura 58. Provetes PC RE 1º ciclo após ensaio de tração	92
Figura 59. Provetes PC RE 2º ciclo após ensaio de tração	93
Figura 60. Provetes PC RE 3º ciclo após ensaio de tração	93
Figura 61. Provetes PC RE 4º ciclo após ensaio de tração	93
Figura 62. Provetes PC RE 5º ciclo após ensaio de tração	94
Figura 63. Zona 1 e Zona 2- Provete 1 PC 1ºciclo	95
Figura 64. Zona 1 e Zona 2- Provete 9 PC 1ºciclo	95
Figura 65. Zona 1 e Zona 2- Provete 5 PC 2ºciclo	95
Figura 66. Zona 1 e Zona 2- Provete 8 PC 2ºciclo	95
Figura 67. Zona 1 e Zona 2- Provete 5 PC 3ºciclo	96
Figura 68. Zona 1 e Zona 2- Provete 6 PC 3ºciclo	96
Figura 69. Zona 1 e Zona 2- Provete 3 PC 4ºciclo	96
Figura 70. Zona 1 e Zona 2- Provete 5 PC 4ºciclo	96
Figura 71. Zona 1 e Zona 2- Provete 2 PC 5ºciclo	97
Figura 72. Zona 1 e Zona 2- Provete 4 PC 5ºciclo	97
Figura 73. Zona 1- Provete 3 PC RE 1ºciclo.....	97
Figura 74. Zona 1e Zona 2- Provete 7 PC RE 1ºciclo	97
Figura 75. Zona 1e Zona 2- Provete 7 PC RE 2ºciclo	98
Figura 76. Zona 1e Zona 2- Provete 9 PC RE 2ºciclo	98
Figura 77. Zona 1e Zona 2- Provete 8 PC RE 3ºciclo	98
Figura 78. Zona 1e Zona 2- Provete 9 PC RE 3ºciclo	98
Figura 79. Zona 1e Zona 2- Provete 3 PC RE 4ºciclo	99
Figura 80. Zona 1e Zona 2- Provete 7 PC RE 4ºciclo	99
Figura 81. Zona 1e Zona 2- Provete 3 PC RE 5ºciclo	99
Figura 82. Zona 1e Zona 2- Provete 5 PC RE 5ºciclo	99
Figura 83. Imagem SEM da superfície do provete 5 do 4º ciclo de processamento do PC	100
Figura 84. Imagem SEM da superfície do provete 4 do 5º ciclo de processamento do PC	100
Figura 85. Imagem SEM da superfície do provete 7 do 4º ciclo de processamento do PC	101

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
kg	Quilograma
km	Quilómetros
kWh	Quilowatt-hora
°C	Graus Celsius

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Veículos automóveis matriculados no ano de 2023	8
Tabela 2. PAG para os respectivos GEE libertados.....	16
Tabela 3. Vantagens e desvantagens da utilização de biopolímeros.....	19
Tabela 4. Consumo anual e pegada de carbono equivalente, para cada um dos indicadores analisados	23
Tabela 5. Consumo anual e pegada de carbono equivalente da frota automóvel	24
Tabela 6. Emissões e contribuição de cada indicador para a pegada carbónica associada ao âmbito 1	25
Tabela 7. Contribuição de cada categoria no valor da PC do âmbito 1	25
Tabela 8. Consumo anual de energia elétrica e as emissões associadas.....	27
Tabela 9. Subcategorias do âmbito 3 incluídas no estudo.....	27
Tabela 10. Distância percorrida e pegada de carbono total referente à distância percorrida diariamente pelos colaboradores da Fehst	28
Tabela 11. Distância percorrida e pegada de carbono total referente às viagens de negócios	30
Tabela 12. Emissões resultantes da produção dos bens e capital adquiridos	31
Tabela 13. Emissões associadas ao transporte <i>upstream</i>	32
Tabela 14. Emissões associadas ao transporte <i>downstream</i>	33
Tabela 15. Emissões resultantes do tratamento de resíduos.....	34
Tabela 16. Quantidades de matéria-prima e materiais adquiridos e a pegada de carbono correspondente	36
Tabela 17. Pegada de carbono da organização.....	37
Tabela 18. Propriedades gerais dos dois materiais	43
Tabela 19. Condições de processamento utilizadas para a produção de provetes	44
Tabela 20. Condições de processamento utilizadas para a produção de placas.....	44
Tabela 21. Resultados do ensaio de MFI do PC virgem e PC RE virgem	53
Tabela 22. Medições cor e brilho das placas	54
Tabela 23. Resultados ensaio de tração PC 1ºciclo e PC RE 1ºciclo.....	56
Tabela 24. Resultados MFI dos 5 ciclos de reproprocessamento do PC e PC RE.....	57
Tabela 25. Resultados dos ensaios de tração do PC	59
Tabela 26. Resultados dos ensaios de tração do PC RE.....	59

Tabela 27. Pegada de Carbono do Produto caso a peça seja produzida com PC ou PC RE.....	70
Tabela 28. Quantidade de granulado adquirido e as emissões correspondentes da produção do granulado	71
Tabela 29. Fator de emissão considerado em cada uma das subcategorias	83
Tabela 30. Resultados obtidos nos três ensaios de DSC	86
Tabela 31. Informação referente ao custo da matéria-prima	102
Tabela 32. Cálculos intermédios do custo de produção de uma peça	102
Tabela 33. Fator de emissão considerado em cada uma das categorias	103
Tabela 34. Pegada de Carbono associada ao transporte upstream e downstream.....	103
Tabela 35. Emissões associadas à injeção de uma peça	104
Tabela 36. Emissões associadas à produção da matéria-prima utilizada na produção da peça	104
Tabela 37. Emissões associadas ao processo de reciclagem de uma peça	104

1. INTRODUÇÃO

Com o aquecimento global e as alterações climáticas a assumirem uma urgência cada vez maior nas economias dos diferentes países, são exigidas ações diretas e rápidas por parte dos governos e da União Europeia (UE).

A UE e todos os seus estados-membros comprometeram-se, ao assinar o acordo de Paris, em garantir a neutralidade de carbono até 2050, sendo desta forma a primeira economia e sociedade com impacto neutro no clima (Conselho Europeu, 2024). Através do pacto ecológico europeu, assumiram o compromisso de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) em pelo menos 55% até 2030, em comparação com os níveis de 1990. Já em fevereiro de 2024, a Comissão Europeia apresentou a sua avaliação com vista a uma meta climática da UE para 2040. Esta avaliação recomendou uma redução de 90% das emissões líquidas de GEE na UE até 2040, face a níveis de 1990 (Comissão Europeia, s.d).

A indústria automóvel sempre esteve sujeita a uma forte pressão, mas nos últimos anos esta pressão deixou de estar exclusivamente direcionada para o conforto na condução e na segurança do automóvel. Com o crescimento da consciência ambiental e a regulamentação vigente, esta indústria enfrenta desafios significativos a nível ambiental. Atualmente estes desafios são, tão importantes para o fabricante e fornecedores como os indicadores de desempenho e características de conforto tradicionais (Barrillari & Chini, 2020). A transição para uma economia mais sustentável é essencial para mitigar os riscos e garantir a sustentabilidade do setor a longo prazo.

Atualmente há uma procura da indústria automóvel por ferramentas que permitam monitorizar as suas emissões diretas e indiretas, detetar os principais setores críticos, isto é, áreas ou atividades de alto impacto ambiental, e ainda possíveis ações, medidas e estratégias eficazes a adotar de forma a reduzir as emissões. As organizações enfrentam cada vez mais uma maior pressão para compreender e reduzir as suas emissões de GEE e na adoção de materiais mais sustentáveis, não apenas por parte de entidades governamentais, mas também pela crescente procura dos clientes e consumidores por práticas empresariais e produtos mais sustentáveis.

Neste contexto, o cálculo da pegada de carbono tornou-se uma métrica fundamental para compreender e mitigar o impacto ambiental das operações empresariais. Paralelamente, o crescente interesse por soluções sustentáveis tem levado as muitas organizações a considerar o uso de biopolímeros como uma alternativa aos materiais convencionais.

A Fehst Componentes, é um dos fornecedores de componentes para OMGs da indústria automóvel mais importante em Portugal que procura cada vez mais o desenvolvimento sustentável. Esta procura tem impulsionado a empresa à implementação de ações para diminuir o seu impacto ambiental, fornecendo informação sobre os seus dados ambientais, sociais e económicos.

Neste seguimento foi proposto o cálculo da Pegada de Carbono da Organização (PCO) e o estudo do potencial uso de biopolímeros na produção de uma peça estética, como parte integrante de possíveis estratégias para a mitigação do impacto ambiental da empresa. Para tal, foram examinados os métodos e ferramentas disponíveis para o cálculo da pegada de carbono de forma precisa e abrangente, assim como os desafios e as melhores práticas na implementação desses métodos em contextos organizacionais.

O trabalho proposto tem como objetivo explorar e analisar criticamente a relação entre o cálculo da PCO e a possível utilização de biopolímeros como medida estratégica para diminuir o impacto ambiental da empresa.

Espera-se obter resultados positivos com possível influência nas práticas recorrentes internamente. Esta alternativa deseja-se que seja benéfica em termos de minimização e monitorizar das emissões dos produtos e da empresa, bem como, melhorar ainda mais a reputação ambiental em termos de sustentabilidade e circularidade.

1.1 Empresa

A Fehst Componentes Lda. é uma empresa localizada em Braga, fornecedora de componentes plásticos maioritariamente para o setor automóvel. Fundada em maio de 1995, o grupo Fehst, resultou de um “*management buyout*” da Grundig Componentes. Especializa-se na produção de sistemas e peças decorativas do interior automóvel, contando com cerca de 20 anos de experiência no ramo e cerca de 120 colaboradores. Destaca-se como um importante fornecedor de componentes deste setor.

Atualmente, a Fehst, oferece uma solução completa para a indústria automóvel, que inclui desenvolvimento, gestão de projetos, logística, produção e inovação sob um rigoroso sistema de gestão da qualidade e encontra-se certificada pela norma da Qualidade, ISO 9001, pela norma de Gestão Ambiental, ISO 14001, e pela norma de Gestão da Qualidade automóvel, IATFT16949.

As principais tecnologias de produção presentes passam pela injeção de peças plásticas, onde dispõe de uma unidade de produção constituída por várias máquinas de injeção, elétricas e hidráulicas, com

capacidade de injeção até três materiais, cromagem seletiva para acabamento, através de eletrogalvanização, pintura de alto brilho com cura convencional ou ultravioleta (elevada resistência a riscos) e montagem automatizada.

Um dos principais objetivos da empresa é ser reconhecida como um dos melhores parceiros para componentes plásticas e desenvolver uma relação de longo prazo com os clientes, comprometendo-se a oferecer não só produtos industriais, mas também um aconselhamento para soluções criativas dentro das suas competências (Fehst Componentes Lda., s.d.).

A indústria automóvel apresenta uma complexa cadeia de fornecimento, coexistindo diferentes categorias, designadas por TIER, dependendo do nível de relação da empresa com o fornecedor final, as *Original Equipment Manufacturers* (OEMs) (Autovista, 2022) (MAGNA,2022):

- Fornecedores TIER 1: são os fornecedores diretos das OEM's, abastecendo-as com sistemas e módulos acabados para que os mesmos possam, de seguida, proceder à montagem dos automóveis;
- Fornecedores TIER 2: por sua vez, estes abastecem os fornecedores TIER 1, produzindo as peças necessárias para montar os diferentes componentes de um carro;
- Fornecedores TIER 3: denominadas como subcontratos dos fornecedores TIER 2, lidam com as matérias-primas e com os materiais necessários para a produção de peças.

A Fehst Componentes é classificada na cadeia de abastecimento como um fornecedor do tipo *Tier I* e *Tier II*, dependendo das peças que produz.

Dentro das instalações da empresa ocorrem diversos processos de transformação dos materiais e matérias-primas rececionados em produtos acabados que irão ser montados aos automóveis. Estes processos encontram-se divididos em quatro processos essenciais: injeção, pintura, cromagem e montagem, podendo ainda em alguns casos ser submetida a um processo de acabamento superficial denominado de polimento.

Desta forma, foi efetuado um levantamento das etapas mais importantes destes processo e elaborado um fluxograma como representado na Figura 1, de modo a representar de forma esquematizada e simplificada os processos produtivos que correm nas instalações da empresa.

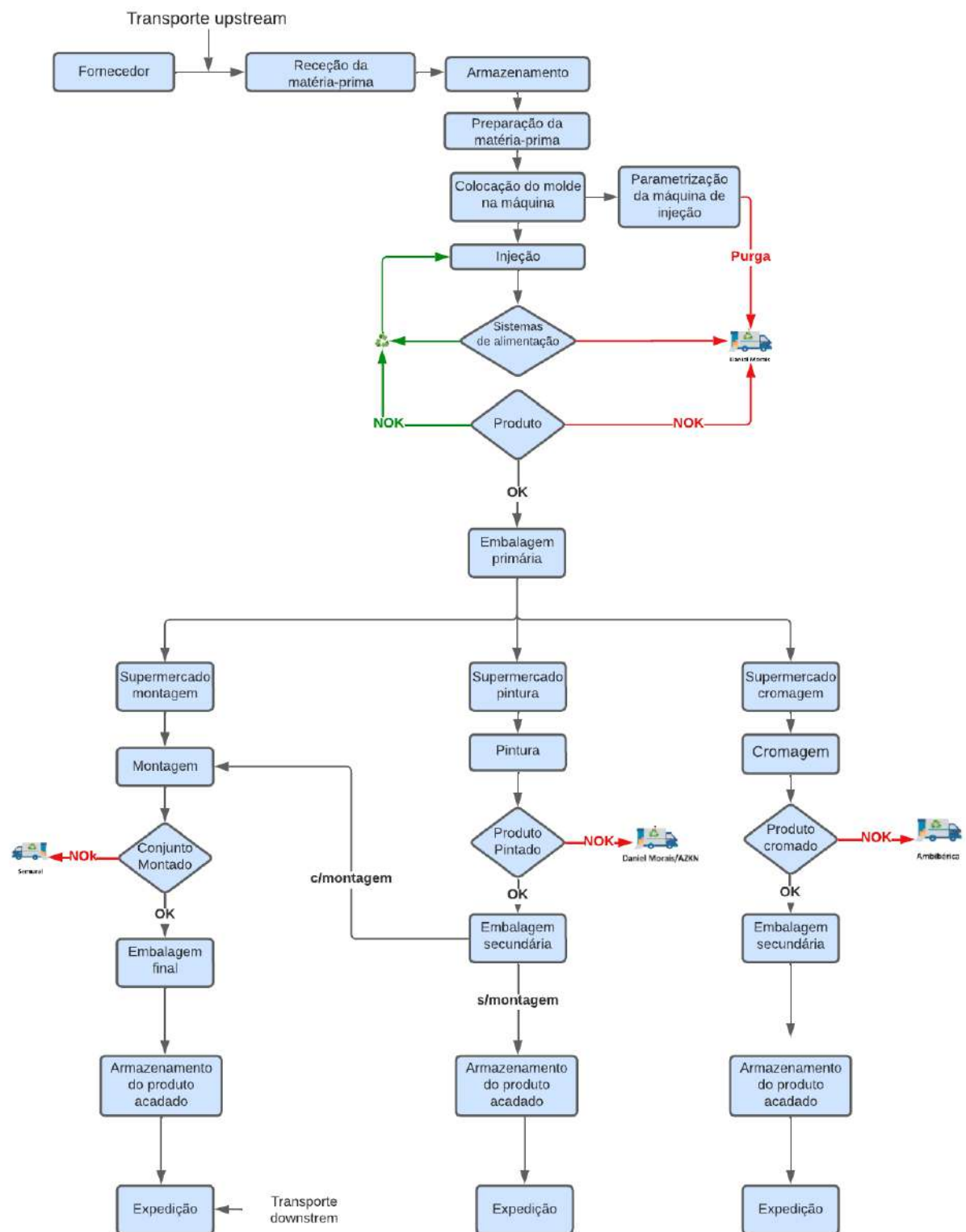


Figura 1. Processos de fabrico na empresa

1.2 Objetivos

O principal objetivo da dissertação prende-se pelo cálculo da PCO, o estudo da viabilidade da substituição da utilização de um polímero de origem petrolífera por um de origem natural no fabrico de uma peça e as implicações económicas e ambientais desta substituição.

Assim, o presente estudo está dividido em duas etapas. Na primeira, o principal objetivo é calcular a PCO de uma empresa transformadora de materiais plásticos, fornecedora da indústria automóvel. Para tal é efetuado o levantamento de regulamentos e normas onde sejam descritos os procedimentos a adotar para o cálculo do PCO. De seguida é efetuado o levantamento de dados internos e externo para o cálculo do PCO, a implementação de uma ferramenta de cálculo e finalmente o cálculo da PCO e sua avaliação global.

De seguida, o foco recai na possibilidade da substituição de um polímero de origem petrolífera por um de origem biológica. Para tal, é feita a comparação entre os dois materiais através de uma caracterização da matéria-prima virgem, caracterização mecânica e a nível de acabamento do produto final e o estudo e avaliação do reprocessamento.

1.3 Metodologia

Para alcançar os principais objetivos deste projeto seguiram-se os passos representados no organograma da Figura 2.

Numa fase inicial são recolhidas informações relativas à metodologia de cálculo da PCO. Seguidamente, procede-se à recolha de dados internos e externos da empresa. Durante o período em que se aguardam dados e informação provenientes da organização e de empresas externas, foram efetuados levantamentos sobre as peças com maior cadência produtiva, os seus requisitos e materiais utilizados. Estes dados são relevantes para a seleção da peça considerada caso de estudo, para a qual será feita a substituição da matéria prima petrolífera por um biopolímero. Após esta etapa será efetuada a seleção de um biopolímero que possua propriedades semelhantes as do polímero sintético utilizado.

Com posse dos dados internos e externos necessários para o cálculo da PCO, procede-se ao desenvolvimento de uma ferramenta que permita efetuar o cálculo. Por fim, ao que se refere à temática da pegada de carbono, será calculada a PCO e a análise dos resultados obtidos.

Seguidamente, após a escolha do biopolímero serão realizados testes para caracterizar este novo material efetuando testes de medição do índice de fluidez, análise termogravimétrica, calorimetria diferencial de varrimento, espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier. Será também

efetuado um estudo do comportamento do biopolímero quando submetido a repetidos ciclos de reprocessamento, de forma a perceber se o comportamento se assemelha ao do polímero de origem fóssil. Posteriormente, serão produzidas provetes e placas com o material selecionado através da moldação por injeção. Por fim serão efetuados testes de verificação das propriedades mecânicas e estéticas das peças de forma a validar a possível utilização desta matéria-prima na futura produção da peça.

Numa última fase, após a obtenção do valor da PCO e a comparação dos resultados experimentais obtidos nos ensaios com os esperados, será realizada o cálculo e análise da pegada de carbono da peça em estudo. Isso permitirá avaliar o impacto da troca de material na pegada de carbono tanto do produto quanto da organização.

Com base em todas as questões investigadas ao longo deste estudo, será possível concluir a viabilidade da utilização de biopolímeros pela empresa, avaliando seus benefícios ambientais e operacionais.

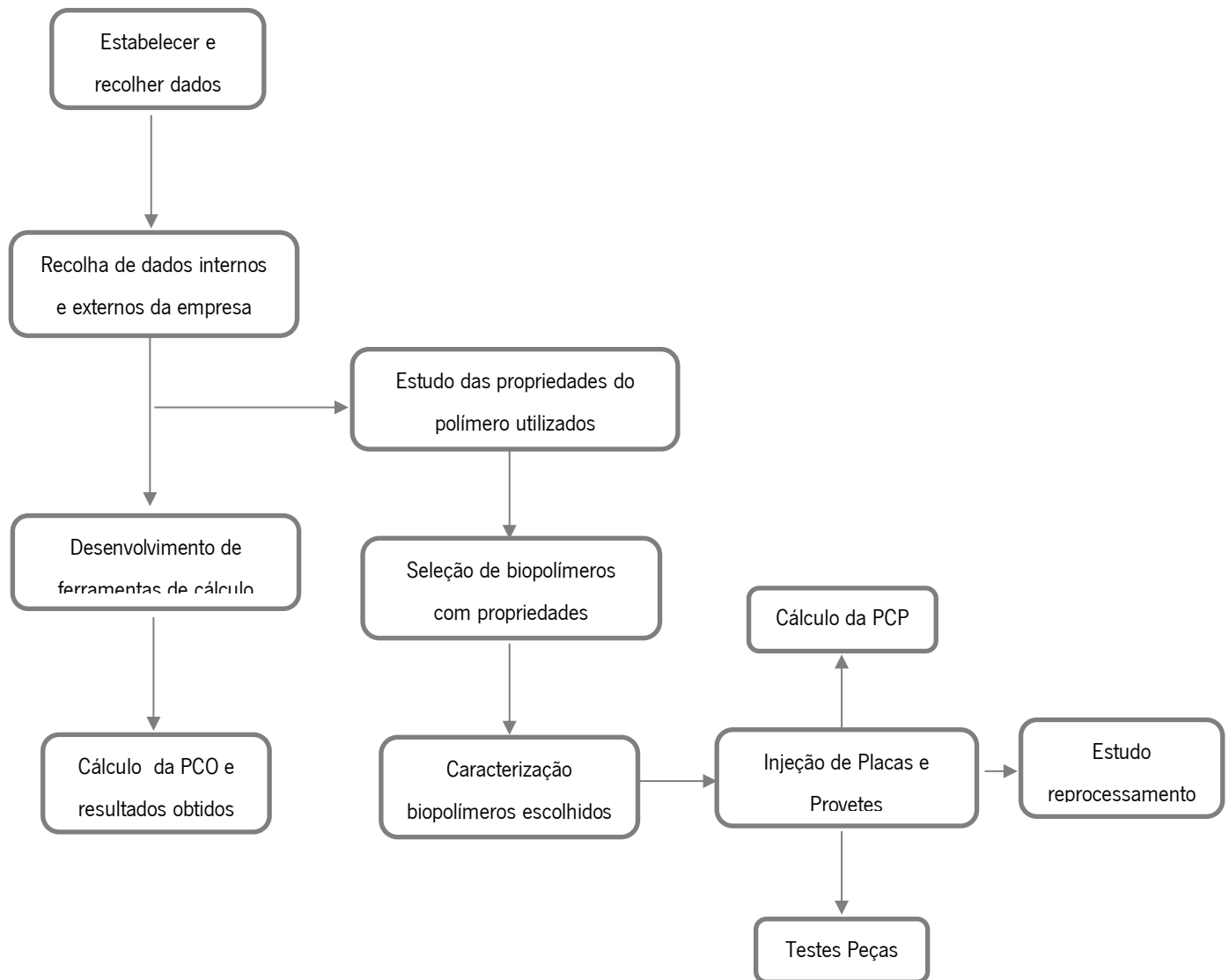


Figura 2. Metodologia do trabalho

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 7 capítulos distintos, cada um deles abordando conteúdos específicos.

O capítulo inicial, apresenta uma breve introdução ao trabalho que se pretende desenvolver e a pertinência da exploração do tema na atualidade. Aborda ainda a empresa colaboradora para o desenvolvimento deste projeto, contempla os objetivos e a organização do documento.

O segundo capítulo, diz respeito aos conceitos teóricos e aborda os fundamentos teóricos essenciais para a compressão da dissertação, nomeadamente a presença dos plásticos na indústria automóvel, a pegada de carbono, metodologias a seguir para o cálculo deste indicador, materiais biopolímeros.

O terceiro capítulo, tem como propósito explicar, de forma detalhada, o procedimento seguido para o cálculo da PCO, apresentar e analisar de forma clara os resultados obtidos e possíveis medidas e ações a adotar.

O quarto capítulo abrange as diversas etapas e processos relacionadas à seleção da matéria-prima com base nos requisitos específicos da peça em estudo. São apresentadas as técnicas utilizadas para a caracterização da matéria-prima selecionada, englobando as propriedades avaliadas e os equipamentos ou métodos empregues para obter os dados necessários. Além disso, é efetuada uma explanação sobre a preparação das amostras para os ensaios de caracterização, descrevendo os procedimentos adotados para garantir a consistência dos resultados obtidos. Aborda ainda a avaliação do ciclo de reprocessamento.

Relativamente ao quinto capítulo é estabelecida uma correlação entre as duas temáticas abordadas nos dois capítulos anteriores, através de uma análise de custos da produção da peça e o cálculo da pegada de carbono da peça, permitindo efetuar uma comparação entre os materiais.

No sexto capítulo são enumeradas as principais conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento da dissertação, destacando os principais resultados obtidos.

Por fim, no último capítulo são fornecidas recomendações para trabalhos de investigação futuros, com o objetivo de validar e complementar os aspetos abordados no presente estudo. Estas recomendações visam contribuir para o avanço do conhecimento na área.

2. CONCEITOS TEÓRICOS

2.1 Plásticos na Indústria Automóvel

O uso de plásticos na sociedade moderna teve um crescimento exponencial nas últimas décadas. Um dos indicadores deste crescimento prende-se por, nos dias de hoje, ser extremamente difícil encontrar algo que não seja feito ou que contenha um ou mais tipos de plásticos na sua constituição (OECD, 2022). Os plásticos desempenham um papel muito útil na sociedade, tendo aplicações essenciais em diversos setores da economia mundial, de entre os quais a indústria automóvel, que nos últimos anos, teve um crescimento exponencial (Hagn, 2015).

A indústria automóvel, tem vindo a reafirmar cada vez mais a sua presença no mercado à escala mundial. Devido à facilidade, comodidade e necessidade, a mobilidade automóvel tem um papel essencial na vida quotidiana. Em Portugal, este setor tem vindo a evoluir significativamente ao longo do tempo, tornando-se numa indústria tecnológica, moderna e competitiva, englobando diferentes áreas como o setor metalúrgico, moldes, fabrico de pneus, borrachas, plásticos, vidros, têxteis, entre outras. A Tabela 1, ilustram o número de veículos automóveis matriculados em Portugal no ano de 2023.

Tabela 1. Veículos automóveis matriculados no ano de 2023		
janeiro a dezembro de 2023		
	Quantidade	%Variação 23/22
Ligeiro de Passageiros	199 623	26,9%
Ligeiros de Mercadoria	28 523	20,7%
Total de Ligeiros	228 146	26,1%
Veículos Pesados	7 907	26,9%
Total	236 053	26,1%

Em termos globais, em 2023, foram colocados em circulação 236 053 veículos automóveis o que representa um crescimento de 26.1% face ao ano anterior no mercado automóvel.

De janeiro a dezembro as matrículas de veículos ligeiros de passageiros totalizaram 199 623 unidades, o que se traduziu numa variação positiva de 26,9% relativamente ao período homólogo de 2022. Neste mesmo período, 51,9% dos veículos ligeiros de passageiros matriculados novos eram movidos a energia alternativa, nomeadamente elétricos e híbridos, tal como representado na Figura 3. Os veículos 100% elétricos, representam 18,20% dos veículos movidos a energia alternativa. Dos 51,90% dos veículos movidos a energia alternativa, 14,50% dos veículo são PHEV, isto é, carros híbridos *pulg-in*.

Estes veículos tem um motor a combustível (gasolina) e um motor elétrico que é carregado através de tomadas. Os veículos HEV são veículos híbridos elétricos, isto é, são veículos que tem um motor a combustão (gasolina) e um motor elétrico que é carregado através do funcionamento do carro. Este tipo de veículos representam 14,50% dos veículos movidos a energia alternativa. Os restantes 5,60% corresponde a veículos que são movidos a outro tipo de energias alternativas, como biocombustíveis ou gás natural.

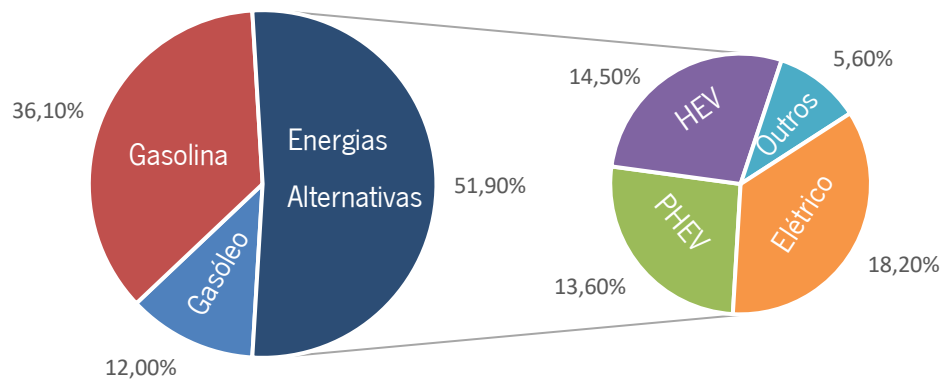


Figura 3. Matrículas de automóveis ligeiros de passageiros em Portugal no ano de 2023 por tipo de combustível

Os plásticos ocupam, progressivamente, um lugar com maior destaque na composição dos automóveis, que por norma, correspondem a cerca de 1/3 das 30 000 peças que possuem (Langenfeld, et al., 2022).

A tendência de substituição dos componentes metálicos por plásticos advém do contributo fundamental para atender às exigências dos consumidores nomeadamente, em relação às características de automóveis seguros, cómodos, atraentes, personalizáveis, económicos e que possam ser adquiridos a preços competitivos. Além disso, as peças plásticas não são propícias à corrosão, oferecem flexibilidade e resistência, possuem ótimo isolamento térmico, reduzem o ruído e permitem a liberdade de design.

As peças plásticas usadas na indústria automóvel são, na sua maioria moldadas por injeção para o fabrico de vários componentes, tais como painéis, porta-luvas, para-choques, botões e puxadores de portas (Hagn, 2015). Para a produção destas peças são utilizados diferentes polímeros, como é o caso do polipropileno (PP), do policarbonato (PC), do acrilonitrilo - butadieno - estireno (ABS), poliamida (PA) e da mistura de PC e ABS. Estas peças são frequentemente submetidas a processos de acabamento

superficial, de forma a melhorar a estética da peça, como é o caso da pintura com cura convencional ou ultravioleta (UV) e cromagem.

A incorporação destes materiais na indústria automóvel traduz-se na redução considerável do peso do carro, devido à massa volúmica destes materiais. Consequentemente, resulta na utilização de motores com menor potência, diminuindo, assim, o consumo de combustível. Por sua vez, um menor consumo de combustível, diminui consideravelmente a quantidade de emissões de GEE para a atmosfera, contribuindo para um menor impacto ambiental associado à condução dos veículos (Flynn, et al., 1993). O ciclo de vida dos automóveis é prolongado, uma vez que com a atenuação da carga nos componentes de suspensão o desgaste é menor.

Porém, existem desvantagens no que diz respeito à produção da grande maioria dos materiais plásticos, uma vez que muitos destes têm origem em fontes fósseis (petróleo). Portanto não é o material mais indicado no que diz respeito à escassez global de recursos. O grande desafio da reciclagem dos plásticos utilizados no setor automóvel, advém do seu reforço com fibras (como é o caso das fibras de vidro ou de carbono) ou mistura de plásticos (como por exemplo compostos de PP e TPE), bem como peças moldadas por bi-injeção de dois ou mais materiais ou o acoplamento de componentes como insertos metálicos, podendo invalidar a sua desmontagem. Além dessas limitações, muitas peças plásticas na indústria automóvel são frequentemente submetidas a processos de acabamento superficial, como pintura ou cromagem, o que dificulta ainda mais o processo de reciclagem (Hagn, 2015) (Langenfeld, et al., 2022).

A sustentabilidade tornou-se assim um propósito cada vez mais importante, particularmente para o setor automóvel que transita gradualmente para alternativas mais sustentáveis (Calabrese, 2012). Desta forma, os intervenientes deste sector têm necessidade de repensar a forma de operar, tornando-se cada vez mais indispensável implementar estratégias em prol do desenvolvimento sustentável, em concordância com as regulamentações governamentais cada vez mais exigentes.

A evolução sustentável desta área implica a substituição de matérias-primas, a minimização da quantidade de matéria virgem utilizada, a incorporação de material reciclado, o recurso a tecnologias mais desenvolvidas e verdes, a redução da quantidade de resíduos produzidos ao longo de todo o processo, entre outras medidas que asseguram a diminuição da pressão ambiental associada à extração excessiva de recursos, produção, consumo e desperdício.

Todavia, ainda existe um longo percurso a percorrer no sentido de minimizar o impacto ambiental associado à indústria e para tal, tem de se agir de igual modo nas primeiras fases do ciclo de vida dos produtos. Por conseguinte, começa-se a verificar uma transição para uma economia mais sustentável e

circular, na qual se incentiva a reestruturação das rotinas de desenvolvimento e produção no sentido de serem ecologicamente mais eficientes (Williams, et al., 2023).

2.2 Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), representados na Figura 4, visam equilibrar o progresso económico com a preservação ambiental e a inclusão social. Estes 17 objetivos foram aprovados em 2015, como parte da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP). Com a criação destes objetivos, exigiu-se a transformação das mentalidades dos diferentes setores e atividade, com o intuito que no seu quotidiano sejam adotados os princípios de uma economia justa e sustentável (Chen, et al., 2021).

Abrangem várias preocupações como o bem-estar e a satisfação das necessidades básicas dos cidadãos, a oferta de infraestruturas e trabalho digno, e a sustentabilidade dos ecossistemas. Assim, a adoção destes princípios, por parte das organizações, permitirá atender à regulamentação governamental e às expectativas da sociedade, fomentando uma reputação de confiança. Os ODS proporcionam um plano global para promover um crescimento económico sustentável e inclusivo.



Figura 4. 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNICEF, 2023)

A indústria automóvel assume-se como um dos pilares do crescimento económico global, gerando milhares de postos de trabalho e impulsionando a inovação tecnológica. Sendo um setor que se encontra em constante desenvolvimento e com um grande impacto ambiental associado à sua atividade surge a

necessidade do seu desenvolvimento sustentável, de forma a garantir que o crescimento económico não comprometa o meio ambiente e o bem-estar social.

Esta indústria desempenha um papel crítico no alcance dos ODS devido ao seu impacto significativo em diversos domínios, como emissões de GEE, consumo de recursos naturais e geração de resíduos. A integração dos ODS no setor automóvel envolve a adoção de práticas sustentáveis que não só melhoram a eficiência operacional, mas também contribuem para a sustentabilidade ambiental e social.

Muitos destes objetivos têm impacto na indústria automóvel, especialmente aqueles relacionados com a energia limpa, consumo responsável, ações contra as mudanças climáticas, conservação da biodiversidade e parcerias para implementação.

A adoção de práticas, como o cálculo da pegada de carbono e a utilização de materiais sustentáveis são passos essenciais para reduzir o impacto ambiental e contribuir para os objetivos globais de sustentabilidade. Ao alinhar as operações com os ODS, o setor automóvel pode desempenhar um papel crucial na promoção de um futuro mais sustentável e equitativo.

Num enquadramento dos ODS na perspetiva deste estudo, verifica-se que este possa ser integrado no ODS 12, produção e consumo sustentável: garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis, bem como no 13, adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos. O ODS 12 e algumas das suas metas e indicadores, corresponde ao objetivo que mais se enquadra com este estudo, uma vez que é referente à consciencialização da produção e consumo sustentável. Mais especificamente a meta 12.2, pretende que até 2030 seja alcançada a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, podendo este objetivo ser alcançado com a adoção de materias de origem natural. O indicador 12.2.1 pretende que seja calculada a pegada do material, estando assim alinhada com um dos objetivos desta dissertação.

Já a meta 12.5 pretende que até 2030 sejam reduzidas substancialmente a produção de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reutilização.

Por fim a meta 12.6 pretende incentivar as empresas, especialmente as de grande dimensão e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informação sobre sustentabilidade nos relatórios de atividade. Numa perspetiva mais aprofundada o indicador 12.6.1 incentiva ao aumento do número de empresas que publicam relatórios de sustentabilidade.

Já quanto ao ODS 13, este estudo alinha-se com a meta 13.2 que consiste em integrar medidas relacionadas com alterações climáticas nas políticas, estratégias e planos nacionais, mais especificamente com o indicador 13.2.2, que aborda a necessidade de calcular as emissões totais de GEE por ano.

2.3 Pegada de Carbono

De modo a dar uma resposta eficaz à ameaça urgente associada às alterações climáticas é necessário quantificar, monitorizar e comunicar as emissões de GEE originadas pelas atividades antropogénicas/humanas (ISO 2018).

A pegada de carbono é um conceito vasto que consiste numa medida das emissões de gases com efeito de estufa, associadas a uma atividade ou produto. A quantidade de gases com efeito de estufa libertado durante as atividades de uma empresa, na elaboração de um projeto ou determinado produto, pode ser determinada através de uma ferramenta de gestão ambiental, denominada de cálculo da pegada de carbono. A quantificação da pegada de carbono permite a definição de estratégias para diminuir, controlar e compensar as emissões libertadas (Barbosa, 2021).

Pode ser direcionada para a instituição, intitulada de pegada de carbono corporativa, que avalia as emissões de todas as atividades da empresa ou organização, como é o caso da energia e transporte. Na eventualidade de ser orientada para o produto, denomina-se por pegada de carbono do produto, e pode ser determinada através da avaliação do ciclo de vida, considerando todas as emissões durante o tempo útil, e abrange todas as fases, desde a aquisição da matéria-prima até ao fim de vida do produto (Correia, 2023).

O cálculo da pegada de carbono corporativa permite identificar as principais fontes de emissão de GEE, selecionar e procurar medidas de redução da pegada, selecionar e procurar medidas de aumento da eficiência, possível oportunidade da redução de custos, oportunidade de participar ativamente no mercado de comércio de emissões, aumento da competitividade no mercado, acesso a mercados mais exigentes e suporte e rotulagem de produtos e comunicação responsável (Get2C-For a Cooler World, 2024).

O cálculo da pegada de carbono pode ser efetuado de diferentes formas e tem associados alguns fatores de emissão, ou seja, quantidade média de um poluente específico ou material descarregado na atmosfera por um processo específico, combustível, equipamento ou fonte, expressos por kg de partículas por unidade do material ou combustível (Barbosa, 2021).

Para o cálculo da pegada de carbono, existem diferentes ferramentas e metodologias aceites na comunidade científica que fornecem diretrizes e requisitos para a contabilização e verificação das emissões de GEE para a organização. No entanto, existem duas metodologias que predominam na escolha dos utilizadores, a ISO 14064 e o GHG (*Greenhouse Gas Protocol*) (APCER, 2023).

A ISO elabora normas internacionais que apoiam as organizações a padronizar procedimentos. No caso da ISO 14064, verifica-se a especificação dos princípios e requisitos a nível empresarial para a

quantificação de emissões de GEE e a redução dos mesmos. Tem como principal objetivo fornecer diretrizes e requisitos para quantificar, implementar, relatar e verificar as emissões produzidas, culminado na realização de relatórios completos. Pode auxiliar o cálculo da pegada de carbono quer a nível organizacional quanto de um projeto (APCER, s.d.).

O Protocolo GEE, foi desenvolvido pelo *World Resources Institute* (WRI) em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), tendo um maior reconhecimento a nível mundial. Trata-se de um protocolo que define um conjunto de regras para medir e gerir as emissões de GEE de operações, assegurar métodos para desenvolver um relatório da PC e fornecer ferramentas para o cálculo da PC. Pode servir de apoio tanto para cálculo da PC de um produto, como de uma organização (WRI&WBCSD, 2011).

Por norma, os GEE incluídos nos diversos estudos e as correspondentes atividades antropogénicas relevantes para a sua emissão correspondem a (EPA, 2024):

- Dióxido de carbono (CO_2), a emissão deste gás resulta, principalmente, da queimas de combustíveis fósseis, da produção de energia elétrica e da desflorestação. O seu impacto é bastante significativo no que diz respeito às alterações climáticas, podendo ser retirados da atmosfera no âmbito do ciclo biológico do carbono que ocorre durante a fotossíntese das plantas;
- Metano (CH_4), é emitido durante a produção e transporte de combustíveis fósseis, a combustão de biomassa e no decorrer da decomposição de matéria orgânica em aterros sanitários;
- Óxido nítrico (N_2O), é geralmente resultado do uso de terra, de atividades industriais, dos resíduos sólidos e do tratamento de águas residuais;
- Gases fluorados, são gases sintéticos que, normalmente, são emitidos em menor proporção do que os restantes, com origem na utilização de equipamentos de refrigeração como o ar condicionado.

No que diz respeito às fontes destas emissões estas são divididas pela literatura em três âmbitos, como se ilustra na Figura 5 (Veiga, 2017).

O âmbito 1 refere-se às emissões diretas, que resultam da queima de combustíveis fósseis ou de processos que resultam em GEE, libertados pelas organizações, como por exemplo, frota automóvel da organização, caldeiras, fornos ou equipamentos de produção química. As emissões indiretas, inseridas no âmbito 2, são provenientes do uso de energia comprada e consumida, isto é, a utilização de energia cuja produção teve, na sua origem, associadas emissões de GEE. Por último, o âmbito 3 é referente às restantes emissões, as emissões na produção de outros materiais consumidos, transporte e distribuição das matérias-primas e dos produtos, serviços contratados e resíduos, entre outros (Veiga, 2017). Este

último âmbito é opcional, podendo-se considerar apenas as fontes de emissões que a organização achar relevante para o tipo de empresa e os objetivos delineados para a descarbonização (WBCSD & WRI, 2012).

Deste modo, a pegada de carbono depende de fatores internos e externos à empresa, assumindo um papel importante no que diz respeito ao combate contra as alterações climáticas e assumindo-se como um fator importante no desenvolvimento sustentável de uma empresa.



Figura 5. Pegada de Carbono da Organização ao longo da cadeia de valor (Iberdrola, s.d.)

As metodologias descritas, para o cálculo da pegada de carbono, no GHG e na norma ISO 14064 comportam as etapas da definição do objetivo, âmbito e limites operacionais, recolha de dados e avaliação do impacto e a interpretação dos resultados.

A definição do objetivo e a posse deste conhecimento irá permitir detetar as categorias mais importantes em termos de emissões, definir medidas de redução mais eficientes nesse sentido e, consequentemente, possibilitar agilização do alcance de metas promissoras.

Na fase da recolha de dados e avaliação do impacto, procede-se ao inventário dos dados de entrada e saída do sistema, com o intuito de calcular as emissões associadas a cada categoria incluída no estudo. Deste modo, existem alguns conceitos-chaves que é essencial enquadrar:

→ **Potencial de aquecimento global (PAG):** é um fator que estima a contribuição relativa de uma unidade base de massa de um dado GEE em relação à mesma unidade de gás de referência, o CO₂, num dado período (ISO 2018). Na Tabela 2, encontram-se descritos os potenciais de aquecimento global em relação ao CO₂, sendo estes valores os estabelecidos pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Os GEE referidos como R410A, R404A e R449A correspondem aos gases fluorados que constituem os sistemas de refrigeração de uma empresa.

Tabela 2. PAG para os respectivos GEE libertados

GEE	PAG (kgCO₂eq/kgGEE)
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298
R410A	2088
R404A	3922
R449A	1397

→ **Fatores de emissão (FE)**: tratam-se de fatores de conversão utilizados para estimar a quantidade de emissões associadas a uma quantidade específica de matéria-prima queimada ou transformada numa determinada atividade. São expressos como quociente entre o volume, distância ou outra atividade em causa (Gold Energy, s.d.).

→ **CO₂ equivalente (CO₂eq)**: é uma medida internacionalmente padronizada para representar os diferentes GEE numa só unidade, representada em dióxido de carbono. Consiste na comparação da força radioativa de outras GEE em relação ao CO₂, sendo que para se obter este valor tem de se multiplicar a massa do gás em questão pelo seu potencial de aquecimento global (ISO 2018).

Para aferir as emissões associadas a cada categoria a equação-base consiste em multiplicar os dados da atividade, como o consumo de combustível ou o consumo de eletricidade, pelo respetivo fator de emissão (FE), tal como ilustrado na Equação 1. Se o FE se encontrar descrito individualmente para cada GEE, é ainda necessário multiplicar pelo potencial de aquecimento global (PAG) correspondente, tal como expresso na Equação 2.

$$\text{Emissões} = \text{Dados da atividade} \times \text{FE (Equação 1)}$$

$$\text{Emissões} = \text{Dados da atividade} \times \text{FE} \times \text{PAG (Equação 2)}$$

2.4 Biopolímeros

Atualmente os plástico são um dos principais materiais necessário para compor a estrutura, o desempenho e a segurança dos automóveis, constituindo cerca de 1/3 da massa de um veículo (Hagn, 2015). Os plásticos mais frequentemente utilizados desta indústria são provenientes de polímeros como o PP, PC, ABS, PA, poliuretano (PU), policloreto de vinil (PVC), poliacetal (POM) e muitas vezes a mistura de alguns destes. A produção destes polímeros, de origem fóssil, gera uma grande quantidade de emissões de CO₂, tal como se pode observar na Figura 6.

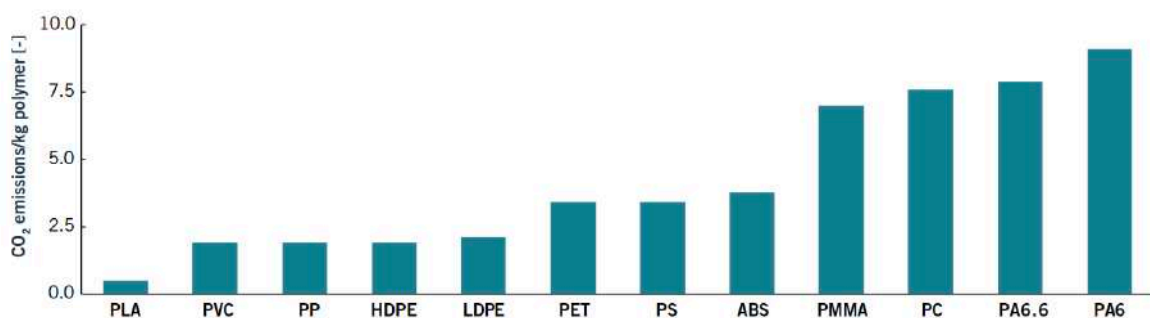


Figura 6. Emissões de CO₂ resultantes da produção de diferentes polímeros (Barrillari & Chini, 2020)

A necessidade de alternativas ao uso de materiais de origem petrolífera tem impulsionado a procura de polímeros de origem natural. De acordo com o *European Bioplastics*, o mercado global dos biopolímeros está em crescimento, prevendo-se um aumento de cerca de 2,23 milhões de toneladas em 2022 para aproximadamente 6,3 milhões de toneladas em 2027 (Europeanbioplastics, s.d.).

Os biopolímeros são polímeros de origem natural, extraídos de organismos vivos como plantas e animais, ou sintética, neste último caso produzidos por meios controlados como laboratórios ou instalações industriais, que se apresentam como uma alternativa promissora aos polímeros tradicionais derivados de fontes fósseis (Phiri, et al., 2023) (George, et al., 2020).

Os materiais podem ser classificados de diferentes formas, incluindo biopolímeros de fonte renováveis, que podem ou não ser biodegradáveis e os biopolímeros sintéticos de origem não renovável, tal como se encontra representado na Figura 7 (Silva,2023).

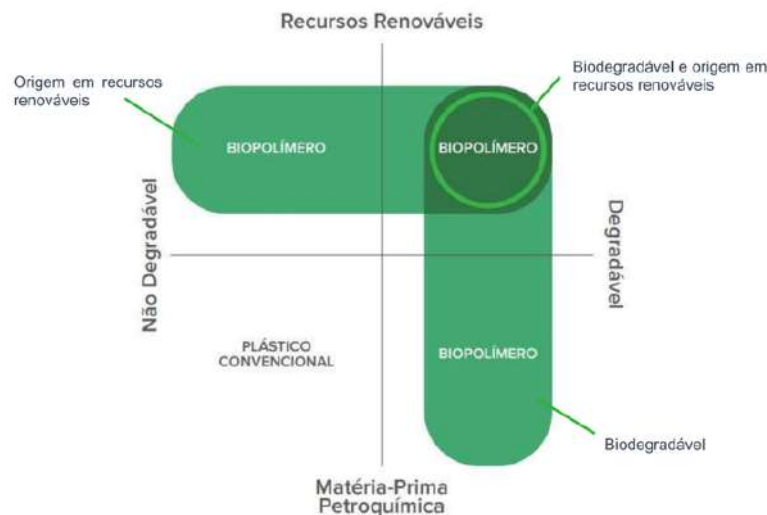


Figura 7. Classificação de polímeros de acordo com a sua origem e degradabilidade (Silva, 2023)

A definição geral para o conceito de biopolímeros refere-se a um material polimérico que cumpre pelo menos uma das seguintes propriedades, ser constituídos (parcialmente) por matéria-prima de fontes renováveis e/ou ser biodegradáveis (Endres & Rath, 2011). Assim, os biopolímeros podem ser distribuídos em três diferentes grupo: biopolímeros de origem fóssil degradáveis, biopolímeros de origem natural (parcialmente) degradáveis, biopolímeros de origem natural não degradáveis (Rajeswari et al., 2021) (Bhagwat et al., 2020).

Existem diferentes tipos de biopolímeros, cada um com as suas propriedades únicas. Alguns dos tipos mais comuns de biopolímeros são (Abe, et al., 2021) (Baranwal, et al., 2022):

- Celulose: polímero natural que é o principal componente das paredes celulares das plantas. A celulose é um material durável usado em diversas aplicações, incluindo papel, têxteis e embalagens alimentares;
- Quitina: polímero natural, encontrado em exoesqueletos de insetos e crustáceos. A quitina é um material forte e rígida, especialmente quando combinado com outros materiais mais duros, como proteínas ou minerais que aumentam a sua rigidez. No caso de quando a quitina é associada a proteínas que proporcionam elasticidade;
- Polilático (PLA): polímero sintético produzido a partir de recursos renováveis, como o amido de milho. O PLA é um material biodegradável e compostável usado em diversas

aplicações, incluindo embalagens, utensílios para serviços de alimentação e dispositivos médicos;

- Polihidroxibutirano (PHB): é um biopolímero da classe dos poliésteres produzido naturalmente por algumas bactérias como forma de armazenar energia. Este material tem atraído bastante interesse devido às suas propriedades semelhantes às dos plásticos convencionais, mas com a vantagem de ser biodegradável e de origem biológica

O uso de biopolímeros apresenta vantagens e desvantagens, como representando na Tabela 3, e esses aspetos podem variar dependendo do contexto específico, da aplicação e das condições locais. As condições locais podem afetar a possível utilização de biopolímero, uma vez que muitos destes materiais são produzidos através de plantas, e o crescimento das plantas está sujeito às alterações climática, à caracterização dos solos, a localização geográfica das plantações. Estas condições afetam as propriedades com que as plantas ficam e, por conseguinte, afetam também as características finais dos biopolímeros.

Tabela 3. Vantagens e desvantagens da utilização de biopolímeros

Vantagens	Desvantagens
Biodegradabilidade	Custo
Inovação Tecnológica	Propriedades mecânicas limitadas
Fonte renovável	Estabilidade térmica e resistência UV (ultravioleta)
Menor emissão de GEE	Competição com a produção de alimentos
Redução da pegada de carbono	Impacto ambiental da produção agrícola

Os biopolímeros apresentam características significativas que os tornam uma alternativa promissora aos polímeros tradicionais derivados de petróleo. Primeiramente, muitos biopolímeros são naturalmente biodegradáveis, o que implica na sua decomposição por processos naturais, contribuindo assim para a mitigação da acumulação de resíduos plásticos no ambiente.

Além disso, a adoção de biopolímeros estimula a inovação tecnológica na indústria, fomentando a pesquisa por novos materiais sustentáveis e métodos de produção mais eficientes. Esses materiais são frequentemente obtidos a partir de fontes renováveis como plantas, microrganismos e biomassa, o que reduz a dependência de recursos não renováveis.

Do ponto de vista ambiental, a produção de biopolímeros pode resultar numa menor emissão de gases de efeito estufa, especialmente quando provenientes de culturas bem geridas. Comparados aos polímeros convencionais derivados de petróleo, os biopolímeros têm o potencial de reduzir

significativamente a pegada de carbono dos produtos fabricados, contribuindo assim para práticas industriais mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

A produção de biopolímeros, embora promissora, enfrenta desafios que podem limitar sua ampla adoção. Um dos principais fatores é o custo, que em muitos casos a produção de biopolímeros é superior ao dos polímeros convencionais. Este custo por vezes mais elevado, deve-se às tecnologias de produção ainda em fase de desenvolvimento e à menor escala industrial, o que encarece o processo.

Além disso, alguns biopolímeros apresentam propriedades mecânicas inferiores em comparação aos plásticos convencionais, o que pode restringir a aplicação em determinados produtos que requerem maior resistência ou durabilidade. Também é importante destacar que certos biopolímeros possuem menor estabilidade térmica e resistência à UV, tornando-os menos adequados para uso em ambientes externos ou expostos a condições adversas.

Outro aspecto crítico refere-se à competição com a produção de alimentos, já que alguns biopolímeros são derivados de culturas alimentares. Este fator pode aumentar a competição por terras e recursos naturais, afetando potencialmente a segurança alimentar global. Além disso, a produção agrícola em larga escala para a obtenção de matérias-primas para biopolímeros pode gerar impactos ambientais negativos, como o uso excessivo de água, pesticidas e fertilizantes, contribuindo para a degradação dos ecossistemas e o esgotamento de recursos naturais (Gowthaman et al., 2021) (Hedar, et al., 2023).

A utilização deste tipo de polímeros é uma abordagem promissora para reduzir o impacto ambiental associado aos polímeros convencionais e uma possível solução para a diminuição da pegada de carbono, oferecendo benefícios ambientais. Deste modo torna-se pertinente o uso destes materiais na indústria automóvel. No entanto, é importante abordar cuidadosamente as desvantagens, equilibrar com as vantagens e considerar as implicações sociais, económicas e ambientais ao implementar esses materiais em larga escala para viabilizar uma transição bem-sucedida.

3. PEGADA DE CARBONO DA ORGANIZAÇÃO

3.1 Pegada de Carbono da Empresa

Este capítulo tem três objetivos centrais, quantificação da pegada de carbono, a identificação de áreas críticas e a caracterização das principais oportunidades.

A quantificação da pegada de carbono da empresa, tem em consideração as suas especificações e adota uma abordagem e um âmbito de análise (Cradle-to-gate + distribuição), que consiste no estudo das emissões de GEE desde a extração da matéria-prima até à entrega dos componentes produzidos ao cliente, como ilustrado na Figura 8.

O objetivo da identificação de áreas críticas será atingido através da análise dos resultados obtidos no sentido de identificar áreas críticas, tanto a nível de consumos energéticos, como em termos de emissões de GEE. O último objetivo será alcançado pela avaliação dos principais processos associados às emissões carbónicas registadas com o objetivo de identificar potenciais oportunidades capazes de serem capitalizadas pela empresa.



Figura 8. Limites organizacionais

O processo de quantificação da pegada de carbono adotado assentou numa abordagem metodológica de cinco fases sequenciais. Na primeira ocorre a caracterização da cadeia de valor ou inventário, onde é feita uma análise da cadeia de valor e caracterização das diferentes especificidades e das tipologias de produtos gerados pela empresa. As cadeias de valor devem ter a capacidade de antecipar, prepara-se, responder e recuperar-se de interrupções, mantendo as operações a um custo e desempenho aceitáveis. A realização do inventário é uma das fases mais importantes no cálculo da PC, pois a qualidade dos

dados reflete-se na qualidade do resultado. Seguidamente, procede-se à identificação de pontos críticos, isto é identificação dos processos e materiais críticos e análise de materialidade às diferentes categorias de âmbito 3.

Após estas etapas ocorre a fase da recolha de dados, onde é definido e implementado um processo de recolha de todos os dados necessários aos cálculos. Ocorre ainda a avaliação contínua da qualidade da informação recolhida. Na quarta etapa é efetuado o cálculo da PCO. Para tal devem ser definidos os FE e os fatores de conversão necessários. Por último na etapa da análise crítica e recomendações, procede-se à análise dos resultados e comparação com outros produtos e dados anteriores da empresa. Desta forma, identifica-se as principais áreas críticas e são estabelecidas um conjunto de recomendações (Mobinov, 2023).

Assim, nos seguintes subtópicos será detalhada às emissões consideradas em cada um dos três âmbitos. O cálculo da PCO será efetuado para o ano de 2023, que no futuro servirá como referência para avaliar a evolução da empresa ao longo dos anos. O FE considerado em cada um dos vários parâmetros das diferentes subcategorias, encontra-se descrito no Apêndice I.

3.1.1 Âmbito 1

O âmbito 1 diz respeito às emissões decorrentes do consumo e queima de combustíveis nas operações diretas da organização. As emissões deste âmbito podem ser associadas à combustão estacionária/fixa, que diz respeito à combustão em equipamentos estáticos e combustão móvel, relativa a meios não elétricos pertencentes à frota da organização. Este âmbito está ainda associado às emissões fugitivas que correspondem à fuga de gases de equipamento de refrigeração, ares condicionados, entre outros. Desta forma, neste estudo, foi considerado como combustão estacionária os consumos de gás natural e de CO₂ utilizado na máquina de pintura. Quanto à combustão móvel, considera-se o combustível da frota própria da empresa. Por último, quanto às emissões fugitivas foi considerado o gás fluorado R134a, administrado num novo aparelho adquirido pela empresa.

Inicialmente foram quantificadas as emissões associadas à combustão estacionária, ou seja, aos consumos resultantes da utilização de gás natural e do CO₂ utilizado na máquina de pintura UV. A Fehst recorre, atualmente, à utilização de gás natural na máquina de pintura de peças e na cantina da organização. Para obter os consumos mensais deste gás nas instalações da empresa, foram consultadas as faturas mensais correspondentes. Após a obtenção destes dados procedeu-se à multiplicação destes consumos pelo FE correspondente.

A limpeza por CO₂ é bastante utilizada na indústria, uma vez que se trata de um método de limpeza rápido, não abrasivo e que não produz resíduos químicos. Este processo consiste num jato de partículas de CO₂ a uma temperatura negativa (gelo seco), sujeito a uma aceleração elevada, que no impacto com a superfície da peça provoca um choque térmico e consequentemente, faz com que a sujidade contraia e fissure. O ar comprimido remove a sujidade das peças e estas ficam limpas (Linde, s.d.) (Sherman, et al., 1994).

Para a obtenção das emissões resultantes do consumo de CO₂ neste processo, recorreu-se às faturas e às informações mensais disponibilizadas nos sistemas informáticos da empresa.

Na Tabela 4, é possível visualizar os consumos anuais para cada um dos dados analisados e o contributos dos mesmos para o valor da pegada de carbono.

Tabela 4. Consumo anual e pegada de carbono equivalente, para cada um dos indicadores analisados

	Consumos (kW)	tCO₂eq	%
Gás Natural	973 912	185	51,4
CO ₂ máquina de pintura	-	175	48,6
Total	-	360	100

Através da análise da Tabela 3, é possível verificar que no ano de 2023 foram consumidos aproximadamente 0,97 GW de gás natural o que resultou na emissão de 185 toneladas de CO₂eq para a atmosfera. A utilização do CO₂ na máquina de pintura UV resultou na emissão de 175 toneladas de CO₂eq. O gás natural corresponde ao indicador da combustão estacionária mais consumido anualmente pela empresa e, consequentemente é aquele cuja contribuição para a pegada de carbono também é maior.

Após a realização do levantamento e, posterior tratamento de todas as emissões associadas à combustão estacionária, seguiu-se para o tratamento dos dados associados às emissões associadas à combustão móvel. Os dados necessários foram obtidos através da análise e tratamento das faturas de combustível.

Uma vez que a empresa dispõe na sua frota própria automóveis ligeiros movidos a diesel, não foi necessário fazer uma distinção do tipo de veículo assim como o respetivo combustível nos onze primeiros meses do ano. No mês de dezembro houve um reajuste das estratégias da empresa, tendo por isso nesse mês ocorrido o consumo de gasolina.

Após a determinação dos consumo de combustível em 2023, procede-se à multiplicação desse valor pelo FE correspondente, obtendo-se a pegada de carbono associada.

Pela análise da Figura 9, verificou-se que nos mês de maio e junho houve um aumento significativo do consumo de combustíveis face aos restantes meses. Tal poderá ter ocorrido, devido à realização de um maior número de viagens em negócios.

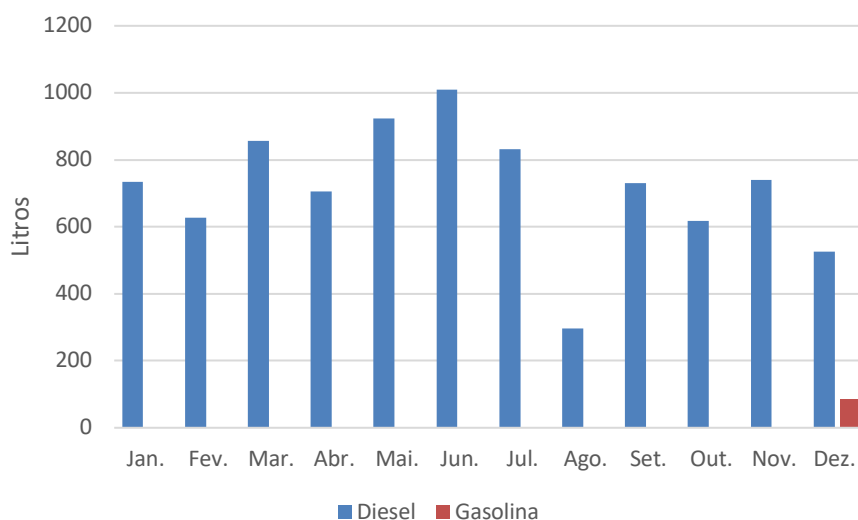


Figura 9. Consumo de combustível nos meses de 2023

Através da Tabela 5, é possível concluir que em 2023, a frota automóvel da Fehst consumiu 8682 litros de combustível fóssil, traduzindo-se na emissão de 21,2 toneladas de CO₂ para a atmosfera.

Uma vez que o reajuste da estratégia da empresa ocorreu só em dezembro, seria de esperar que o consumo de gasolina fosse muito inferior ao consumo de gasóleo. Pela análise da Tabela 5, depreende-se que o mesmo se verifica.

Tabela 5. Consumo anual e pegada de carbono equivalente da frota automóvel

	Consumos (l)	tCO ₂ eq
Ligeiro Gasóleo	8598	21,5
Ligeiro Gasolina	84	0,2
Total	8682	21,7

Por fim, os dados das emissões fugitivas foram consultados a partir das fichas de intervenção realizadas que discriminam a existência ou não de fugas, tal como as quantidades administradas. Para tal, recorreu-se à análise das fichas de intervenção realizadas aos equipamentos de ar condicionado dos edifícios, concluindo-se que não se obtiveram fugas em 2023 e, consequentemente, não houve contribuição deste parâmetro para o cálculo final da PCO.

No ano de 2023, foi adquirido um aparelho que necessitava da administração de gás R134a. Desta forma, este gás fluorado foi o único parâmetro considerado nas emissões fugitivas.

Na Tabela 6, encontra-se descrita a contribuição de cada indicador do âmbito 1 para a pegada de carbono associada a este âmbito. A partir da análise desta tabela, é possível concluir que a combustão estacionária representa 83,7 % das emissões totais referentes ao âmbito 1, seguida das emissões fugitivas e da combustão móvel com 11,3% e 5,0 %, respetivamente. A discrepância dos valores da contribuição de cada categoria para a PC do âmbito 1 pode ser justificada pelo processo de pintura ser significativo no conjunto de atividades produtivas da empresa, contribuindo assim para as elevadas emissões associadas à combustão estacionária.

Tabela 6. Emissões e contribuição de cada indicador para a pegada carbónica associada ao âmbito 1

	tCO₂eq	%
Combustão Estacionária	360,1	83,7
Combustão Móvel	21,7	5,0
Emissões Fugitivas	48,6	11,3
Total	430,4	100

Na Tabela 7 apresenta-se a contribuição efetiva de cada categoria para o valor total da PC associada a este âmbito.

Tabela 7. Contribuição de cada categoria no valor da PC do âmbito 1

	tCO₂eq	%
Gás Natural	185	43
CO ₂ máquina de pintura	175	41
Frota automóvel	21,7	5
Gases Fluorados (R134)	48,6	11
Total	430,3	100

3.1.2 Âmbito 2

Este âmbito é relativo as emissões associadas, maioritariamente, ao consumo de energia elétrica adquirida à rede. Deste modo, as emissões resultantes dos consumos de energia elétrica de todas as atividades e processos produtivos da organização eletricamente dependentes serão contabilizadas neste âmbito do estudo.

Este pode ser calculado através do método *market-based* ou *location-based*. No primeiro caso, o FE considerado é o disponibilizado pela empresa fornecedora da energia elétrica. No segundo, o FE considerado é o associado à localização geográfica na qual a fábrica está a operar.

Inicialmente foi feito uma análise dos dados do consumo de eletricidade mensais das instalações da empresa, através da leitura e análise das faturas mensais. De forma a ser possível determinar as emissões associadas aos consumos de energia elétrica, poderia ter-se procedido à multiplicação dos consumo pelo FE correspondente. Uma vez que nas faturas do fornecedor da energia elétrica já se encontrava discriminado as emissões resultantes dos consumos mensais, foram esses os valores considerados neste estudo.

A Fehst possui nas suas instalações unidades de produção para autoconsumo (UPAC), que lhes permite produzir localmente a sua própria energia, a partir de energia renovável, contribuindo diretamente para reduzir a compra de energia elétrica. A energia produzida é consumida instantaneamente (E-Redes, s.d.).

Através da análise da Figura 10, foi possível concluir que os meses cujo consumo são mais elevados correspondem a março, maio e novembro. Seria de esperar que houvesse um maior consumo nos meses de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro), uma vez que se trata de meses mais frios e escuros, traduzindo-se consequentemente numa menor produção de energia fotovoltaica, havendo um maior consumo de energia elétrica proveniente da rede pública. O ano de 2023 em Portugal Continental classificou-se como extremamente quente em relação à temperatura do ar e seco em relação à precipitação (IPMA, 2024). A não verificação dos meses mais frios como aqueles onde ocorre um maior consumo elétricos, comprova o impacto das alterações climáticas nos consumos de energia elétrica.

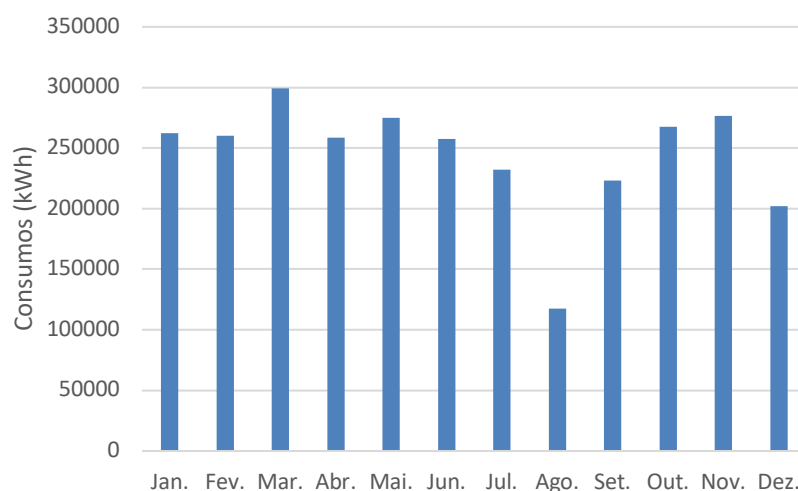


Figura 10. Consumos mensais de energia elétrica

Pela análise da Tabela 8, conclui-se que em 2023 foram consumidos aproximadamente 2,9 GWh de eletricidade, representando a emissão de 670 toneladas de CO₂eq para a atmosfera. As UPAC tiveram a capacidade produtiva de 277 490 kWh de eletricidade por ano o que lhes permitiu alcançar uma autonomia energética de, sensivelmente, 9% durante o ano de 2023. Tendo sido evitado as emissões de 147 toneladas de CO₂eq.

Tabela 8. Consumo anual de energia elétrica e as emissões associadas

	Consumos (kWh)	tCO₂eq	%
Energia elétrica rede	2 931 216	670	82
Energia elétrica produzida	277 490	147	18
Total	3 208 706	817	100

3.1.3 Âmbito 3

Neste âmbito serão consideradas todas as emissões indiretas, associadas a todas as atividades desenvolvidas na cadeia de valor, tanto a montante como a jusante das operações internas da organização. Estas emissões podem ser divididas em quinze subcategorias, sendo que para este estudo e de encontro com as atividades da empresa serão contabilizadas unicamente sete subcategorias, tal como descrito na Tabela 9.

Tabela 9. Subcategorias do âmbito 3 incluídas no estudo

Subcategoria	Descrição
Deslocação dos Trabalhadores	Emissões associadas à deslocação dos colaboradores entre a sua habitação e as instalações da empresa.
Viagens de Negócios	Emissões associadas às deslocações de negócios realizadas.
Bens de Capital	Bens e capitais não considerados como matéria-prima.
Transporte <i>Upstream</i>	Emissões associadas ao transporte de matéria-prima.
Transporte <i>Downstream</i>	Emissões associadas à distribuição do produto acabado para o cliente.
Resíduos	Emissões associadas ao transporte dos resíduos.

Deslocação dos Trabalhadores

Atualmente a organização emprega cerca de 120 funcionários, sendo deste modo necessário diariamente a deslocação destes entre as suas habitações e as instalações da empresa e vice-versa. O levantamento de alguns dados como o tipo de transporte adotado, o número de viagens efetuadas por semana e a distância média do percurso total, é essencial para uma boa quantificação destas emissões.

Inicialmente, atendendo à análise dos formulários de informação de cada funcionário, procedeu-se à determinação da distância média do percurso de cada funcionário, através do código postal da empresa e da habitação do funcionário. De seguida, recorrendo ainda à análise dos formulários, estabeleceu-se o tipo de transporte adotado e o número de viagens efetuados por semana, por cada funcionário. Posteriormente, após a posse destes dados procede-se ao cálculo das emissões, efetuando a multiplicação da distância percorrida diariamente pelo FE associado ao meio de transporte adotado. Após este cálculo efetuou-se a multiplicação do valor obtido pelo número de viagens efetuadas semanalmente. E por fim, a multiplicação das semanas de trabalho de 2023 pelo resultado anteriormente obtido. O ano civil de 2023 teve 365 dias dos quais, 52 dias foram sábados, 53 dias domingos, 10 dias feriados nacionais/religiosos e 22 dias as férias do colaborador. Assim, resulta em 228 dias de trabalho, que corresponde a aproximadamente 45 semanas de trabalho. Sendo este o valor utilizado no último cálculo efetuado para a determinação das emissões resultantes das deslocações dos funcionários.

A Tabela 10 ilustra as distâncias anualmente percorridas para cada meio de transporte utilizado, a pegada de carbono de cada tipo de viatura e o contributo destas no valor total da PC nesta subcategoria.

Tabela 10. Distância percorrida e pegada de carbono total referente à distância percorrida diariamente pelos colaboradores da Fehst

Meio de Transporte	Distância (km)	tCO₂eq	%
Ligeiro	1425,9	82,01	91,51
Autocarro	123,9	6,60	7,36
Motociclo	17,6	0,66	0,74
Trotinete	14,1	0,32	0,36
Bicicleta	15,5	0,02	0,03
A pé	12,9	-	-
Total	1609,5	89,61	100

Pela análise da Tabela 10, é possível concluir que o meio de transporte preferencialmente utilizado pelos colaboradores para se deslocarem diariamente é o veículo ligeiro, e consequentemente é aquele cuja contribuição para o valor da PC é superior.

Em termos de padrões de mobilidade dos seus trabalhadores, foi possível observar que estes recorrem, preferencialmente, a carro próprio percorrendo, em média, 15 km por dia.

Nas deslocações de casa para o trabalho, as emissões provêm maioritariamente da utilização do carro e do autocarro como meio de transporte. No total, foram geradas 90 tCO₂eq nos movimentos pendulares dos trabalhadores entre as suas habitações e o seu local de trabalho.

Viagens de Negócios

As viagens de negócios são essenciais para estabelecer e manter relações comerciais, facilitando o *networking* e a expansão dos negócios.

O protocolo de GEE, engloba neste parâmetro as viagens de negócios por terra, mar e ar. Contudo para este caso de estudo só se contabilizou as viagens de avião e as viagens por terra. As viagens via terrestres contabilizadas são as resultantes da utilização de carro próprio, de comboios, autocarro, do aluguer de carros, da utilização de serviços de transportes e das deslocações empresa/aeroporto, e vice-versa.

As deslocações de negócios realizadas com a frota da empresa, já se encontram contabilizadas no âmbito 1.

Para a quantificação das viagens de avião foi necessário fazer um levantamento sobre as viagens de negócios efetuadas no decorrer do ano de 2023, a empresa transportadora, o local de origem e destino da viagem e o número de pessoas que viajaram. Foram consultadas as faturas resultantes da compra de bilhetes de forma a obter os dados necessários. Após a obtenção desta informação, recorreu-se a uma plataforma digital, denominada de *ICAO Carbon Emissions Calculator*. Esta estima as emissões geradas por um determinado voo e a sua relação quantitativas para cada passageiro, permitindo aferir a pegada de carbono por passageiro, com base no aeroporto de origem e de destino de cada pessoa. Por fim após a determinação das emissões por passageiro procedeu-se à multiplicação deste valor pelo número de pessoas que efetuaram esta viagem.

Por sobreposição de viagens de negócios e indisponibilidade da frota da empresa, algumas deslocações têm de ser feitas nos veículos próprio dos colaboradores, sendo desta forma considerados neste âmbito. Para quantificar estas deslocações, foi feito um levantamento das viagens efetuadas nesta conjuntura, o local de origem e destino e o tipo de veículo e combustível utilizado.

Após a recolha destes dados, e uma vez que todas as deslocações com carro próprio foram efetuadas pela mesma pessoa, fez-se um somatório de todos os quilómetros percorrido e multiplicou-se pelo fator de emissão associado.

Para a quantificação das emissões associadas à utilização do comboio e do autocarro, inicialmente procedeu-se à análise dos bilhetes adquiridos de forma a recolher a informação da distância percorrida em todas as viagens de comboio efetuadas em 2023. Seguidamente procedeu-se à multiplicação de cada uma destas distâncias pelo FE associado a cada meio de transporte.

Muitas vezes os colaboradores da empresa necessitam de recorrer ao aluguer de carros e aos serviços de transporte, para se deslocarem nas cidades para as quais viajaram por via aérea. Quanto às emissões provenientes da utilização de carros alugados, foram analisadas as faturas emitidas pelas empresas de aluguer de viaturas. Nestas constam os quilómetros percorridos com a viatura e o FE associado às suas viaturas. Desta forma, procedeu-se à multiplicação da distância pelo FE correspondente. Já para as viagens dos serviços de transporte, através das faturas do serviço determinou-se as distâncias percorridas e multiplicou-se estas distâncias pelo FE, de forma a obter as emissões associadas.

Pela análise da Tabela 11, verifica-se que as viagens terrestres têm um peso residual, comparativamente às viagens aéreas, no valor total da pegada de carbono associada a esta subcategoria. No ano de 2023, foram emitidas 11,83 tCO₂eq e 0,87tCO₂eq resultantes das viagens aéreas e terrestres, respetivamente.

Tabela 11. Distância percorrida e pegada de carbono total referente às viagens de negócios

Indicador	tCO₂eq	%
Viagens aéreas	11,83	93,12
Carro Próprio	0,04	0,35
Comboio	0,03	0,23
Autocarro	0,05	0,38
Aluguer de Carros	0,48	3,77
Serviços de Transporte	0,008	0,07
Deslocações aeroporto	0,26	2,08
Total	12,70	100

Bens de Capital

A subcategoria dos bens-capitais diz respeito a todas as emissões no ciclo de vida (extração, produção e transporte) dos bens de capital adquiridos pela organização durante o período de análise (GHG, s.d.).

Os bens de capital podem ser desde veículos, equipamentos/máquinas, edifícios adquiridos e produtos que sirvam de *input* aos processos produtivos e que não sejam identificados como pertencentes à subcategoria bens e serviços.

No ano de 2023 foram adquiridas duas máquinas de montagem e seis estantes em aço para armazenamento de matérias-primas e moldes, sendo por isso estes os bens capitais considerados neste estudo.

As máquinas de montagem automáticas são dispositivos industriais projetadas para automatizar o processo de montagem de produtos ou componentes, permitindo montagens complexas com zero defeitos. As novas estantes adquiridas permitiram aumentar a zona de armazenamento da matéria-prima e moldes.

Uma vez que o vendedor das estantes e das máquinas de montagem não disponham da informação referente às emissões resultantes da produção dos bens de capital adquiridos, foi necessário estabelecer uma relação para a quantificação desta subcategoria. As máquina de montagem convencionalmente adquiridas pesam em média 2,5 toneladas, onde 80% da sua constituição é aço e 20% corresponde a alumínio. Assim, foi efetuada a multiplicação do FE de cada um destes metais pelo peso correspondente. Para as estantes, foram consultadas as fichas do produto de modo a determinar o peso destas e multiplicado o valor obtido pelo FE do aço.

A categoria bens de capital registou emissões de 62,65 tCO₂eq, tal como é possível concluir pela análise da Tabela 12, sendo a aquisição de máquinas de montagem a maior responsável (66%) pelas emissões de GEE.

Tabela 12. Emissões resultantes da produção dos bens e capital adquiridos

Bens adquiridos	Quantidade (un)	tCO₂eq	%
Máquinas de Montagem	2	41,77	66
Estantes	6	20,88	33
Total	-	62,65	100

A quantificação desta categoria é elementar e com pouco detalhe, uma vez que não foi possível quantificar as emissões resultantes da produção e transporte dos bens, sendo unicamente quantificadas as emissões resultantes da extração da matéria-prima necessária para a produção dos bens.

Transporte *Upstream*

O transporte *upstream* diz respeito ao transporte a montante da cadeia de valor, ou seja, entre as instalações dos fornecedores dos materiais e matérias-primas e as da Fehst. Este transporte pode ser efetuado por meios aéreos, náuticos ou terrestres, recorrendo a diferentes tipos de veículos.

Neste estudo foram considerados unicamente os transportes por meios terrestres com recurso a veículos pesados e carrinhas movidas a diesel, uma vez que não foi possível identificar qualquer transporte de mercadorias efetuado com recurso a meios aéreos ou náuticos.

Para a quantificação desta categoria foi necessário ter conhecimento de algumas informações referentes ao respetivo transporte de cada uma das matérias-primas e materiais adquiridos pela organização. Esta informação é referente ao número de quilómetros realizados (entre as instalações do fornecedor e da empresa), número de viagens por ano e a percentagem do transporte, isto é, percentagem que a quantidade de produto (materiais ou matéria-prima) transportado representa na capacidade máxima do sistema de transporte.

Com a finalidade de determinar a pegada de carbono associada a cada transporte, deve ser efetuada a multiplicação da distância pelo FE do veículo e pelo FA.

Devido à impossibilidade da disponibilização de dados atualizados de todas as entregas de matéria-prima no decorrer do ano de 2023, os dados considerados foram uma estimativa dos dados de 2022 com um acréscimo de 20%, justificado pelo crescimento da produção da empresa. Assim, foi feito um levantamento e tratamento dos dados referentes ao ano de 2022, tendo-se verificado que ao longo de todo o ano, foram adquiridos um total de 725216 kg de todas as matérias-primas utilizadas nos processos produtivos da empresa, tendo o seu transporte resultado na emissão de 48,65 tCO₂eq. Com o acréscimo de 20%, estima-se que foram emitidas aproximadamente 58,39 tCO₂eq, resultante do transporte *upstream* no decorrer do ano de 2023.

No transporte a montante, a Alemanha assume-se como a origem preferencial de matéria-prima, surgindo a cidade de *Leverkusen* e *Hiddenhausen*, como as cidades alemãs com maior encargo na pegada de carbono associada a esta categoria, com um peso de 56% e 20%, respetivamente. Quanto à tipologia do veículo, com a análise da Tabela 13, é possível concluir que os veículos pesados articulados representam a classe preferencialmente utilizada, correspondendo a 95,6% das emissões, seguido dos veículos pesado (4,3%) e das carrinhas de transporte, com um valor residual de 0,01%.

Tabela 13. Emissões associadas ao transporte *upstream*

Tipologia do veículo	Emissões (tCO ₂ eq)	%
Carrinha de Transporte	0,055	0,01

Veículo Pesado	2,509	4,3
Veículo Pesado Articulado	55,822	95,6
Total	58,386	100

Transporte *Downstream*

Relativamente ao transporte a jusante da cadeia de valor, isto é, transporte efetuado entre as instalações da empresa fabricante dos produtos e as do cliente, trata-se de um tipo de transporte que pode ser efetuado recorrendo aos mesmos meios de transporte que o *upstream*. Tal como neste, também só se considerou o transporte por meios terrestres e recorrendo aos mesmos meios de transporte.

Para a quantificação desta categoria procedeu-se de forma similar ao transporte *upstream*, mas considerou-se a informação referente ao envio do produto acabado para os diferentes clientes. Assim, procede-se à análise das guias de transporte referentes aos envios dos produtos para os respetivos clientes no ano de 2023, de forma a recolher os dados referentes às moradas das instalações dos clientes, número de viagens por ano, percentagem do transporte e tipologia do veículo que efetuou o transporte.

Com a finalidade de determinar a pegada de carbono associada a cada transporte, deve ser efetuada a multiplicação da distância pelo FE do veículo e pelo FA.

A Tabela 14 detalha os países no quais se encontram localizadas as instalações dos clientes da Fehst, as respetivas emissões resultantes do transporte a jusante da cadeia de valor e a contribuição destas emissões para as 76,41tCO₂eq emitidas para a atmosfera.

Apesar de os clientes com as suas instalações em Portugal terem uma maior proximidade geográfica com a Fehst, numa perspetiva geral, o transporte para as suas instalações assume-se como o maior emissor de GEE, 63,21%. Isto deve-se ao facto de haver um maior volume de vendas, e consequentemente de envios, para estes clientes. A Alemanha surge como o segundo país no qual se encontram localizados mais clientes, tendo os transportes resultando na emissão de 16,16 tCO₂eq (21,15%), seguido da República Checa com 10,13tCO₂eq (13,26%).

Tabela 14. Emissões associadas ao transporte *downstream*

País	Emissões (tCO₂eq)	%
República Checa	10,13	13,26
Hungria	1,14	1,49

Malta	0,05	0,07
Portugal	48,30	63,21
Alemanha	16,16	21,15
Roménia	0,14	0,18
Espanha	0,49	0,64
Total	76,41	100

Resíduos

Resíduos são materiais ou substâncias que são descartadas ou consideradas sem valor útil após o uso, processo de fabrico ou consumo. Podem ser sólidos, líquidos ou gasosos (Ivascu & Izvercian, 2015).

Foi feita a quantificação das emissões resultantes da eliminação e tratamento dos resíduos por terceiros, provenientes das atividades e operações da empresa. Desta forma, tornou-se necessário o levantamento dos diferentes tipos de resíduos e o tipo de tratamento sofrido, isto é reciclagem, aterro ou incineração.

Na Tabela 15, encontra-se descrita a distribuição das emissões de GEE por método de tratamento de resíduos.

Tabela 15. Emissões resultantes do tratamento de resíduos

Tratamento	Quantidade (ton)	tCO₂eq	%
Reciclagem	156,17	3,32	6
Aterro	98,81	51,42	94
Total	254,98	54,74	100

Das 24 tipologias de resíduos tratados, 17 foram tratados com processos de reciclagem e valorização, permitindo reduzir significativamente as emissões associadas e 7 tiveram como destino o aterro. No Anexo I, encontram-se detalhas as 24 tipologias de resíduos tratados tratadas.

A categoria resíduos registou, durante o ano de 2023, um total de emissões de GEE equivalente a 55 tCO₂eq. Apesar de serem enviadas para aterro menos tipologias de resíduos, estes tratamento têm um maior contributo (94%) que a reciclagem (6%) para o valor total da pegada de carbono da categoria dos resíduos. Representando 79% do total da quantidade de resíduos gerados, as lamas de tinta (51%) e as lamas de cromagem (28%) são as tipologias com maior peso significativa no valor total da pegada de carbono desta categoria.

Embora uma parte considerável das atividades de tratamento de resíduos na Fehst esteja associado a processos de reciclagem e valorização de resíduos com baixas emissões, existem alguns resíduos no qual o tratamento ainda é o aterro o que acaba por ter um peso muito significativo na pegada de carbono associada a esta categoria.

Bens e Serviços Adquiridos

As matérias-primas são os materiais básicos ou inputs iniciais que são utilizados na produção, enquanto os materiais são categorias mais amplas que engloba não só as matérias-primas, mas também outros tipos de substâncias ou elementos que são utilizados em processo de fabrico.

Para o bom funcionamento da produção e de forma a dar resposta à procura dos clientes é necessário a posse de todos as matérias-primas e materiais necessários para a produção dos produtos da empresa.

Assim, de forma a determinar a pegada de carbono desta subcategoria foram consideradas as emissões associadas à produção de materiais e produtos, e à extração de combustíveis fósseis para a produção dos polímeros adquiridos pela empresa no ano base. Admite-se ainda todas as embalagens de cartão ou plástico, paletes e embalagens de metal utilizadas para o transporte dos materiais adquiridos. Tornou-se assim necessário fazer um levantamento das diferentes classes de materiais e matérias-primas, e das quantidades totais adquiridas dos mesmos a cada um dos fornecedores correspondentes.

De forma a facilitar o processo de recolha de informação, todos os materiais e matérias-primas foram divididas nas etapas dos processos produtivos da empresa, ver Figura 1. Para a injeção é considerado o granulado e aditivos utilizado para a injeção das peças. Já para os processos de acabamento, pintura e cromagem, são divididos em tintas, diluentes, endurecedores, auxiliares e vernizes para o primeiro e em produtos químicos, produtos químicos-sais e produtos laboratoriais no segundo caso. Por fim, o processo de montagem necessita da aquisição de molas de metal, condutores de luz e napa.

Tendo em conta os dados de todos os produtos, procurou-se perceber quais eram as unidades utilizadas com maior frequência, sendo feita a conversão para essas unidades, neste caso o kg.

Os constituintes utilizados na montagem e os produtos laboratoriais, eram os únicos que não se encontravam expressos nestas unidades, tornando-se necessário a sua conversão.

Relativamente aos constituintes utilizados na montagem estes são adimensionais, sendo adquiridos às unidades. De forma a determinar a quantidade, em kg, adquirida deste componentes, foi necessário ter conhecimento do peso destes e multiplicar pelas quantidades adquiridas. Já quanto aos produtos laboratoriais, uma vez que as quantidade destes produtos laboratoriais vinham expressos em litros, tornava-se necessário converter para kg. Deste modo foi necessário recorrer as fichas de segurança deste

produtos para obter a densidade e ser possível efetuar a conversão de unidades de volume para unidades de massa.

Na Tabela 16, encontram-se descritas as emissões resultante da produção dos diferentes bens adquiridos e o peso destas emissões no valor total da pegada de carbono associada a esta subcategoria. Pela análise desta tabela, é possível concluir que os materiais representam a grande maioria das emissões (99,73%), fazendo com que o embalamento possua uma relevância manifestamente reduzida. Os plásticos, com 1873,17 tCO₂eq emitidas (84,5%), são os que apresentam maior representatividade, seguido dos produtos utilizados na pintura, com 243,3 tCO₂eq (10,98%), e dos químicos da cromagem, com 64,85 tCO₂eq (2,93%), geradas.

Tabela 16. Quantidades de matéria-prima e materiais adquiridos e a pegada de carbono correspondente

Indicador	Consumo (kg)	tCO ₂ eq	%
Injeção	508,51	1873,17	84,5
Montagem	5,68	29,28	1,32
Cromagem	36,49	64,85	2,93
Pintura	68,15	243,3	10,98
Embalagens	2,57	5,94	0,27
Total	621,4	2216,54	100

Num ponto de vista geral das emissões associadas ao âmbito 3, é possível concluir pela análise da Figura 11, que as subcategorias com um maior impacto nas emissões deste âmbito são bens e serviços adquiridos, seguida da deslocação dos funcionários e do transporte *downstream*.

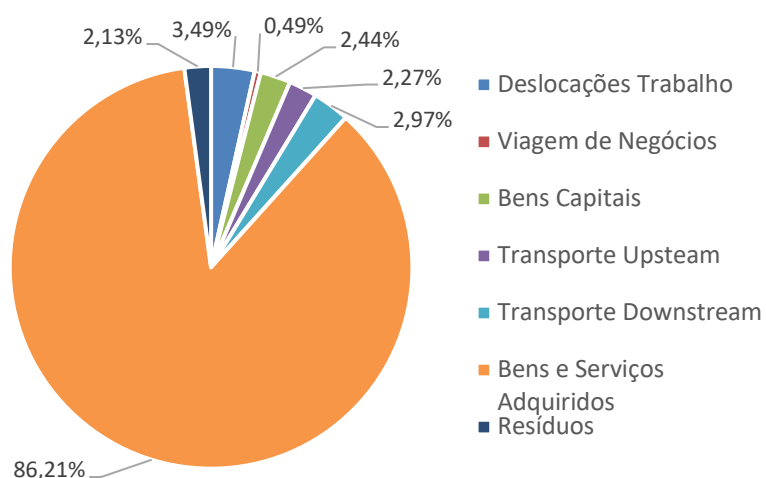


Figura 11. Contribuição de cada subcategoria nas emissões do âmbito 3

3.2 Análise da Pegada de Carbono da Empresa e Identificação de Áreas Críticas

Na Tabela 17 apresenta-se o sumário da pegada de carbono da organização, tendo por base uma abordagem desde a extração da matéria-prima até à distribuição dos produtos finais. A pegada de carbono da Fehst resulta da soma das emissões de todas as atividades consideradas.

Tabela 17. Pegada de carbono da organização

Âmbito	Categoria	Emissões por âmbito (tCO ₂ eq)	Contribuição por categoria (%)	Contribuição por âmbito (%)
1	Gás Natural	430	5,04	11,72
	Frota automóvel		0,59	
	CO ₂ máquina Pintura UV		4,77	
	Gases Fluorados		1,32	
2	Eletricidade	670	18,25	18,25
3	Deslocação	2571	2,44	70,03
	Trabalhadores			
	Viagens de Negócios		0,35	
	Bens de Capital		1,71	
	Transporte <i>Upstream</i>		1,59	
	Transporte <i>Downstream</i>		2,08	
	Resíduos		1,49	
	Bens e serviços adquiridos		60,37	
Total		3671	100	100

No ano de 2023, o impacto ambiental da Fehst para as alterações climática situou-se na ordem de 3671 toneladas de CO₂ equivalente. Através da Figura 12, observa-se que o âmbito com mais emissões corresponde ao âmbito 3, com uma contribuição de 70% na PCO, seguido do âmbito 2 (18%) e por fim do âmbito 1 (12%). As atividades desenvolvidas na cadeia de valor foram aquelas com um maior impacto nas emissões totais da empresa.

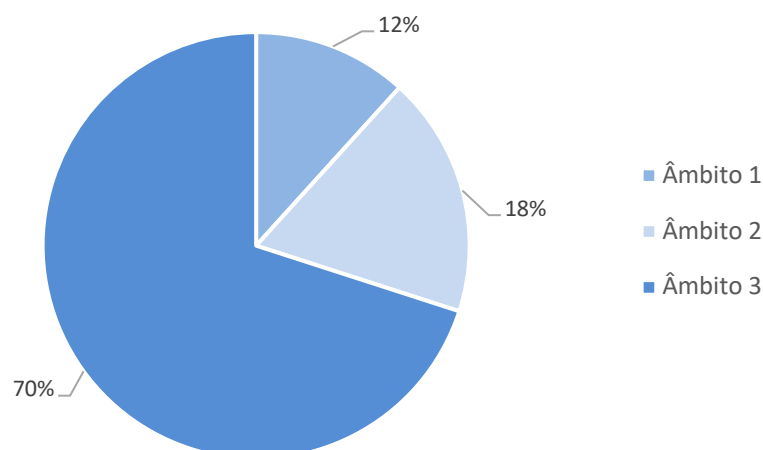


Figura 12. Contribuição de cada âmbito para a PCO

Analisando a contribuição de cada categoria individual, dos diferentes âmbitos, na Figura 13, verifica-se que aquela que mais contribui diz respeito às matérias-primas e materiais adquiridos (“bens e serviços adquiridos”), representando aproximadamente 60% da PCO. A categoria relativa ao consumo de eletricidade (“energia elétrica comprada”) assume-se como a segunda categoria com maior impacto na PCO, seguida da categoria referente ao consumo de gás natural (5%).

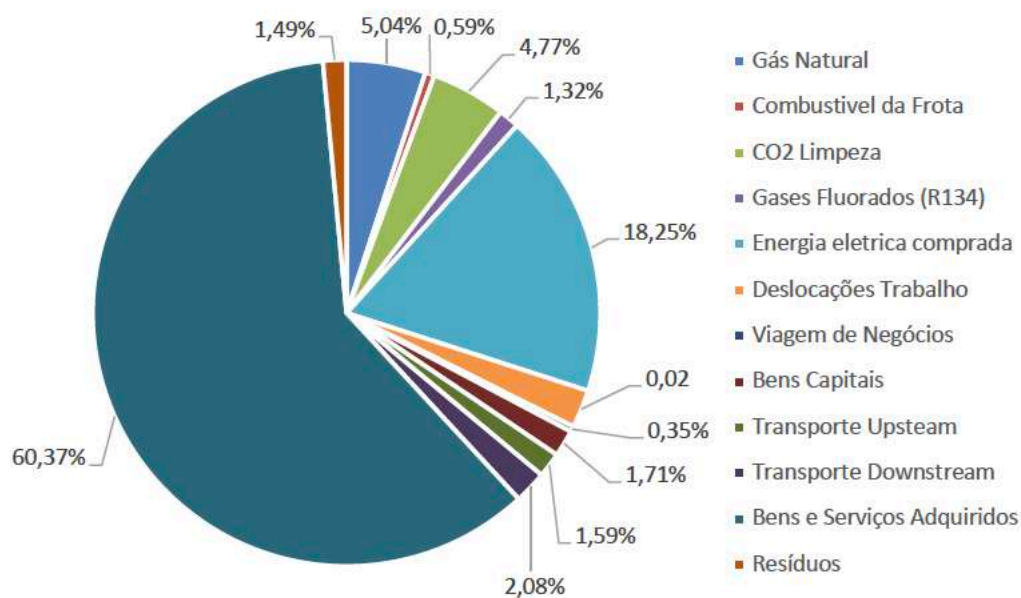


Figura 13. Contribuição de cada categoria individual para a PCO

3.3 Oportunidades

Numa retrospectiva dos valores obtidos e em modo conclusivo de possíveis motivos que justifiquem estes valores e possíveis medidas para a mitigação dos impactos ambientais causados pelas emissões de carbono será feita uma análise detalhada de cada um dos âmbitos e subcategorias.

Relativamente ao âmbito 1, os resultados obtidos sugerem como medida preventiva a possibilidade de eletrificação dos processos fabris, nomeadamente das máquinas de pintura, para a redução das emissões GEE.

No que se refere ao âmbito 2, na eventualidade de existir num futuro condições infraestruturais para tal, surge como possibilidade o investimento em soluções de energia verde, como é o caso dos painéis solares. Podendo desta forma maximizada a autonomia energética, sendo possível atingir autonomias superiores a 15%. Simultaneamente, e em virtude da elevada pegada carbónica associada a este âmbito, o estabelecimento de um *Power Purchase Agreement* (PPA) assume-se como uma medida com grande impacto no processo de descarbonização da organização. Um PPA é um mecanismo que permite que empresas adquiram energia diretamente de fontes de geração, frequentemente projetos de energia renovável, como centrais solares ou eólicas (Repsol, s.d.).

A categoria “bens e serviços adquiridos” é a categoria mais representativa, com um peso de aproximadamente 60% na PCO. No que diz respeito às matérias-primas, a Fehst usa tipicamente na produção de peças os polímeros seguinte: PC, o PC/ABS, o PP e o TPE entre outros. Esta fração tem uma contribuição bastante significativa para as emissões associadas a esta categoria devido às diversas etapas necessárias para a extração e produção de polímeros.

Desta forma, é importante considerar e avaliar a possibilidade de se proceder à substituição dos bens atuais por alternativas com menor impacto ambiental, como por exemplo o uso de materiais reciclados e o uso de biomateriais. Neste contexto, importa destacar que esta área tem registado avanços significativos nos últimos anos, nomeadamente ao nível de plásticos reciclados. Assim, uma possível medida a implementar é a adoção de matérias de origem natural, e de reciclados de forma a diminuir e tentar mitigar a aquisição dos materiais de origem petrolífera, potenciando a diminuição das emissões associadas à produção da matéria-prima. Com o aumento da taxa de reciclagem e a incorporação de novo da matéria-prima reciclada nos processos produtivos, de forma a evitar as emissões associadas ao tratamento no fim de vida, representando uma diminuição no impacto ambiental. No entanto, também é preciso analisar cuidadosamente a seleção deste tipo de polímeros, uma vez que enfrentam alguns desafios como o desequilíbrio da biodiversidade, a utilização sustentável do solo e da água e o conflito criado em torno da possibilidade do declínio da cadência de produção de alimentos em prol da produção

de polímeros de origem não-fóssil. Num cenário hipotético, no qual todos os polímeros de origem fóssil fossem substituídos pelos de origem biológica, pressupõe-se que as emissões de GEE iriam reduzir na ordem dos 30% (Vanderreydt et al. 2021).

A categoria da deslocação dos funcionários tem um peso de cerca de 2% na pegada carbónica total da FEHST. Neste contexto, e conscientes de que a localização das instalações pode dificultar a utilização de transportes públicos, importa referir que a promoção de *carsharing* entre o trabalhador poderá ser encarado com uma iniciativa de grande impacto, tanto em termos da performance ambiental da empresa como em termos económicos para os seus colaboradores, fomentando ainda o relacionamento entre eles. Simultaneamente, a criação de um serviço de autocarro, em parceria com a empresa de transportes públicos da cidade, que ligue diretamente as áreas geográficas mais representativas das habitações dos funcionários, poderá ser algo com grande impacto na desempenho ambiental da empresa.

A categoria de bens de capital apesar de apresentarem um peso não muito significativo na pegada carbónica global da empresa representam, do ponto de vista ambiental e climático, um impacto controlado uma vez que detêm tempos de vida relativamente longos o que acaba por permitir diluir as suas emissões e o seu impacto ao longo do tempo.

No que se refere ao transporte a montante a jusante da cadeia de valor, apesar de apresentarem um peso inferior quando comparado, por exemplo, com a categoria bens e serviços, existem algumas iniciativas que podem ser desenvolvidas. Assim e tendo em consideração a priorização existente do transporte por via terrestre e a tendência crescente de novas soluções de mobilidade de pesados de mercadorias à base de hidrogénio, baterias e biocombustíveis é expectável que, num futuro próximo, estas alternativas assumam preços competitivos com as soluções atuais, permitindo acelerar o processo de descarbonização associado a esta área. Também uma reavaliação da sua cadeia de valor no sentido de promover o *nearshoring*, principalmente a montante, poderá ser algo com vantagens para a FEHST.

Por último, relativamente à categoria de resíduos, uma sugestão passa pela criação de programas e iniciativas centradas na valorização deste tipo de resíduos. Programas e iniciativas centradas na valorização deste tipo de resíduos através de métodos de tratamento menos intensivos em termos de emissões poderão ter impactos relevantes ao nível da redução da pegada carbónica da Organização, no que a esta categoria diz respeito.

4. UTILIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS COMO MEDIDA PREVENTIVA

De forma a minimizar o valor da PCO, existem algumas medidas que podem ser implementadas de modo a tentar atingir este objetivo. Uma delas é a substituição de polímeros de base petrolífera por polímeros de bases natural, uma vez que as emissões resultantes da produção da matéria-prima utilizada tem um grande impacto no valor da PCO.

O foco deste capítulo é a avaliação do impacto da substituição de matérias-primas, na PCO. Para tal foi selecionada uma peça que serviu de caso de estudo e estudados possíveis materiais alternativos, biopolímeros, que pudessem substituir o material de base petrolífera utilizado. Procedeu-se à caracterização da matéria-prima virgem, à caracterização mecânica do material e à caracterização estética do produto final. Adicionalmente foi efetuada uma análise dos resultados obtidos e por fim realizou-se uma avaliação do ciclo de processamento, através da evolução do MFI e das propriedades mecânicas.

4.1 Caso de estudo

Para a seleção do caso de estudo foi feito um levantamento das peças produzidas nas instalações da empresa, com o requisito de ser uma peça injetada e sem processos de acabamento, e selecionada uma para o estudo da utilização de biopolímeros na produção de uma peça. Foi só efetuado o levantamento do número de peças produzidas nos primeiros 6 meses do ano de 2023.

A peça com maiores volumes produtivos no ano de 2023 é intitulada de *DEKORRAHMEN RADIO/NAVI 8" BASIC*, Figura 14. Esta peça faz parte de um projeto com a *Volkswagen* e constitui a consola do T-Roc.

A peça é produzida com um PC *Makrolon 2405* preto da Covestro, permitindo baixa contração e elevada precisão dimensional.



Figura 14. Peça selecionada como caso de estudo

4.2 Seleção de Materias Alternativos: Biopolímero

Com a finalidade de selecionar a matéria-prima recorreu-se a softwares de base de dados poliméricos nomeadamente o Omnexus e o Matweb, que pesquisam matérias-primas dentro de milhares de datasheets, tendo em conta as diferentes especificações inseridas pelo utilizador. Paralelamente, foram efetuados contactos com fornecedores de matérias-primas de modo a compreender as tendências em relação às matérias-primas de base bio.

Os requisitos apresentados aos fornecedores e colocados nos softwares foram a origem da matéria-prima, tendo esta de ser base natural ou com a incorporação de biomateriais, possibilidade de ser injetada e a possibilidade de ter propriedades semelhantes à dos materiais atualmente fornecidos. Desta forma, foram apresentadas algumas propostas de materiais, tendo sido encontradas algumas adversidades, como por exemplo a carência de matérias-primas 100% de origem natural.

O biopolímero selecionado trata-se do Makrolon 2405 PC RE, da Covestro. A ficha técnica do material selecionado foi disponibilizada pelo fornecedor, estando esta apresentada no Anexo III.

O PC trata-se de um polímero amorfo com algumas características notáveis como estabilidade dimensional, transparência, elevada resistência ao impacto e elevada temperatura de distorção térmica. A sua excelente resistência elétrica e retardação de chamas releva a sua importância na produção de componentes para veículos automóveis. (Francis, 2017). Na Figura 15 encontra-se ilustrada a unidade repetitiva deste polímero.

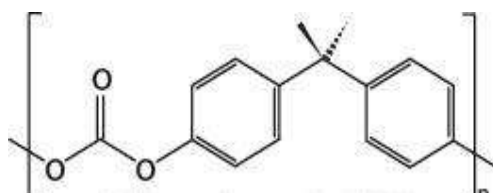


Figura 15. Unidade repetitiva do policarbonato

O biopolímero selecionado para a substituição do polímero convencionalmente foi o PC RE que se trata de um policarbonato bio circular, cuja base da matéria-prima é de origem biológica, normalmente resíduos orgânicos, como por exemplo óleos vegetais usados em grandes empresas alimentares, não sendo utilizados combustíveis fósseis para a sua produção.

Trata-se de um material com baixa pegada de carbono graças ao uso de energia elétrica renovável para a sua produção, bem como matérias-primas de resíduos e bio resíduos balanceados em massa. A sigla “RE” significa “renovável” e representa um mudança significativa para materias de baixo carbono derivados de fontes renováveis.

A Covestro assegura que este material oferece a mesma qualidade e desempenho (idênticas propriedades físicas, térmicas e mecânicas) que os policarbonatos de base fóssil e podem ser facilmente inseridos em processo produtivos existentes (Covestro, s.d.) (Covestro, 2021).

Na Tabela 18, encontram-se descritas as principais propriedades destes dois materiais.

Tabela 18. Propriedades gerais dos dois materiais

	Propriedade	PC	PC RE
Propriedades Físicas	Densidade (kg/cm³)	1200	1200
	MFI (g/10 min)	20	20
Propriedades Mecânicas	Tensão de Cedência (MPa)	65	65
	Resistência ao Impacto	Não parte	Não parte
	Módulo de Flexão (MPa)	2350	2350
Propriedades de Processamento	Temperatura de Fusão (°C)	280	280

4.3 Processamento e Caracterização dos Materiais em Estudo

4.3.1 Processamento

Além de se pretender estudar a viabilidade do PC RE poder substituir o PC na produção da peça em estudo, pretende-se também estudar se este material se comporta de forma semelhante ao polímero de base fóssil quando submetido a múltiplos ciclos de reprocessamento. Com os resultados obtidos, também se poderá concluir se a produção da peça em estudo poderá ser assegurada por PC RE reciclado.

Para comparar o desempenho dos materiais a nível de processamento por moldação por injeção e respetivos ciclos de reprocessamento, começou-se por injetar 150 provetes de cada material. Antes da injeção destes provetes, ambos os materiais foram submetidos a um processo de estufa a 120°C durante 3h de forma a remover possível humidade. A estufa utilizada foi a *Binder ED115*, presente no Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho.

A máquina utilizada para a injeção dos provetes foi a *Engel Victory 50* com uma força de fecho de 50 toneladas, existente no Departamento de Engenharia de Polímeros da Universidade do Minho. Na Tabela 19, encontram-se detalhadas as condições de processamento utilizadas.

Tabela 19. Condições de processamento utilizadas para a produção de provetes

Parâmetros	Condições
Temperatura de processamento	280 °C – 300 °C
Pressão de Injeção	1010 bar
Velocidade de Injeção	76,3 cm ³ /s
Temperatura do Molde	80 °C
Tempo de Compactação	1,3 s
Pressão de Compactação	700 bar
Tempo de Injeção	3 s
Tempo de Arrefecimento	19 s
Tempo de Ciclo	37 s

Após o processo de injeção, foram selecionados e armazenados 10 provetes, com a finalidade de serem posteriormente utilizados para caracterização do material em termos mecânicos. Os restantes provetes foram submetidos a um processo de granulação, reduzindo-os a partículas, com o objetivo de obter matéria-prima para um novo ciclo de processamento. Antes da nova injeção do material reprocessado, este foi submetido a processo de estufagem, sob as mesmas condições operacionais previamente utilizadas. Após a conclusão do período de estufagem, o material foi sujeito a um novo ciclo de processamento, utilizando as mesmas condições de processamento estabelecidas no ciclo inicial. Este procedimento foi repetido até ao quinto ciclo de reprocessamento, assegurando a manutenção da consistência experimental ao longo de todos os ciclos de processamento.

A granulação dos provetes foi efetuada num granulador denominado de *Colortronic M102L*.

Foi também utilizada a máquina *Arburg Allrounder 420C*, com uma força de fecho de 80 toneladas e a *Arburg Allrounder 370E* com uma força de fecho de 60 toneladas, ambas disponível na Fhest, para a produção de umas placas de dimensões 110x90x3 milímetros em PC RE e PC, respetivamente. Estas placas são necessárias para efetuar a avaliação estética, bem como para a medição da cor e do brilho. Na Tabela 20 encontram-se os dados acerca das condições de processamento para as placas.

Tabela 20. Condições de processamento utilizadas para a produção de placas

Parâmetros	Placas PC	Placas PC RE
Temperatura de processamento	270 °C – 300 °C	270 °C – 300 °C
Pressão de Injeção	1000-1600 bar	1000-1600bar

Velocidade de Injeção	50-15-5 mm/s	50-15-5 mm/s
Temperatura do Molde	80 °C	80 °C
Tempo de Compactação	3 seg.	4 seg.
Pressão de Compactação	900 bar	700 bar
Tempo de Injeção	3 seg.	4 seg.
Tempo de Arrefecimento	15 seg.	16 seg.
Tempo de Ciclo	23,51seg.	23,65 seg.

Na Figura 16 encontram-se representados os provetes obtidos, um provete para cada ciclo de reproprocessamento. Na Figura 17 está representada uma das placas obtidas.



Figura 16. Provetes obtidos nos diferentes ciclos de reproprocessamento



Figura 17. Placas injetadas

4.3.2 Caracterização dos Materiais

A caracterização da matéria-prima é essencial para prever o desempenho do material em diferentes aplicações.

Neste subtópico são definidos os métodos de caracterização adotados e as condições de ensaio usados. Foi feita a caracterização à matéria-prima virgem, que consistiu na determinação do comportamento térmico do material, através de ensaios de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC), do comportamento reológico e do comportamento químico.

O comportamento reológico é valioso na correlação entre as propriedades dos materiais e o seu comportamento aquando do seu processamento. Para tal, serão realizados ensaios para a determinação do índice de fluidez do material (MFI), à temperatura típica de processamento do mesmo.

Além disso, a identificação dos grupos funcionais e da presença de outros materiais foi realizada por

meio do ensaio de Espectroscopia no Infravermelhos por Transformada de Fourier (FTIR), contribuindo desta forma para a caracterização química do material.

Nos seguintes subtópicos são descritos os ensaios e os métodos utilizados.

4.3.2.1. Caracterização da Matéria-Prima virgem

A técnica de DCS permite quantificar a diferença de energia absorvida ou libertada sob a forma de calor entre uma amostra de material e a amostra padrão, em função do aquecimento ou arrefecimento, sob uma atmosfera controlada.

Desta forma, são fornecidas informações qualitativas e quantitativas sobre as mudanças físicas e química que envolvem processos endotérmicos (absorção de calor), exotérmicos (libertação de calor) ou mudança de capacidade calorífica (Al-Majed, et al., 2015).

O ensaio foi realizado segundo a norma ISO 11357-1:2016 utilizando o equipamento da marca *Netzsch*, modelo DSC 200 F3 Maia, Figura 18, numa atmosfera de azoto.



Figura 18. Aparelho utilizado para a realização do DSC

Inicialmente deve ser realizada a tara da balança, *Perkin-Elmer AD-4 Autobalance*, com precisão de 0,001mg, disponível no Departamento de Engenharia de Polímeros de Engenharia de Polímeros. Posteriormente deve ser preparada a amostra de material, através de um grânulo de matéria-prima. De seguida, é efetuado um pequeno furo no cadinho de alumínio, para que seja possível ocorrer as trocas de gases. A massa da amostra deve estar dentro do intervalo de valores de [4,6] mg. Seguidamente coloca-se o cadinho na prensa, de modo a selar. Por fim é colocada o cadinho no aparelho de DSC e estabelecida a velocidade de aquecimento, 10°/min.

Numa primeira etapa, a amostra é sujeita a um primeiro aquecimento entre os 20°C e os 300°C, sendo posteriormente exposta a um arrefecimento a 10°C/min desde a temperatura máxima, 300°C, até a temperatura mínima, 20°C. Em seguida, procede-se novamente ao aquecimento da amostra, no mesmo intervalo de temperaturas.

A partir da análise FTIR é possível a identificação das ligações químicas numa molécula através da produção de um espectro de infravermelhos. Trata-se de um instrumento analítico, eficaz, onde as amostras são colocadas no espectrómetro e a fonte de luz passa em diferentes comprimentos de onda através da amostra. Após atingir a amostra, uma fração de radiação incidida é absorvida, resultando em espectro de absorção para uma determinada gama de comprimento de onda, que corresponde à frequência de vibração de uma dada ligação química na amostra. Posteriormente são detetados e caracterizados os grupos funcionais presentes e ligações covalentes existentes.

A espectroscopia de infravermelhos incorpora vários tipos de medição, tais como por reflectância total atenuada (ATR). O método ATR permite que as amostras sejam analisadas diretamente, no estado sólido ou líquido, sem que haja uma preparação adicional. Esta metodologia consiste em pressionar a amostra contra um prisma de alto índice de refração e é medido o espectro de infravermelhos, sendo que a luz é totalmente refletida no interior do prisma (Abidi, et al., 2014) (Vladimir, et al., 2012).

A análise de FTIR da amostra foi realizada no equipamento Spectrum 100 FTIR Spectrometer, da marca Perkin Elmer, Figura 19. Os espectros foram obtidos à temperatura ambiente, resultando da média de 16 acumulações, na gama 4000 a 6000 cm^{-1} , e uma resolução de 4 cm^{-1} .



Figura 19. Aparelho utilizado para a realização do FTIR

O teste de medição do índice de fluidez é realizado para medir o índice de fluidez de um polímero termoplástico. Esta medição é realizada durante um ensaio de fluxo em massa onde a câmara de aquecimento aquece e submete o polímero a uma carga constante. O material é forçado a fluir através de um orifício, sobre condições controladas de temperatura e pressão, fornecendo valores que permitem verificar as suas propriedades durante o processamento. Os dados obtidos informam a taxa de material fundido, em gramas, que atravessa o orifício durante um determinado intervalo de tempo, geralmente 10 minutos.

O aparelho utilizado foi o MFI *Daventeste*, Figura 20. Este equipamento é composto por um cilindro onde a amostra é colocada, aquecida e controlada a uma temperatura pré-definida e, de seguida, pressionada por um pistão a uma determinada carga constante. É ainda constituído por uma fieira com orifício de dimensões específicas, através do qual o material flui e são extraídas as amostras.



Figura 20. Aparelho utilizado para a realização do MFI

Para a realização deste ensaio foi seguida a norma ISO 1133, sendo, para os materiais em questão, o aparelho foi colocado a uma temperatura de 300°C e o pistão carregado com uma carga de 1,2 kg. Previamente ao ensaio, todo o material foi colocado numa estufa a 120°C durante 3 horas, de forma a remover possível humidade. Assim, que o equipamento atingiu a temperatura pretendida, o material foi colocado no cilindro e pressionado manualmente para remoção do ar presente entre os grânulos dos polímeros, evitando interferência ou erros no decorrer do mesmo. Após esta etapa, o cilindro passou por um tempo de pré-aquecimento de forma a restabelecer a temperatura do ensaio, fundindo o material da amostra. Assim terminado este período de pré-aquecimento, o ensaio iniciou-se sendo retiradas um total de 10 amostras de material em intervalos de 5 segundos, por ensaio. Por fim, prosseguiu-se com a pesagem das amostras retiradas na balança digital *Mettler Toledo XS603S*, com a precisão de 1mg.

Através das mostras recolhidas, foi calculada a médias das massas. Desta forma, de modo a determinar a facilidade com que o material tem em fluir, foi calculado o valor do índice de fluidez, através da Equação 3, sendo o resultado expresso em g/10min (ISO 1133:2005).

$$MFI = \frac{t_{ref} \times m}{t} \quad (Equação 3)$$

Onde,

t_{ref} corresponde ao tempo de referência, 10 min (600s);

m é a massa média, em gramas, dos cortes;

t é o intervalo de tempo de corte, em segundos.

4.3.2.2. Caracterização Estética da peça

A quantificação de características como cor, brilho e textura de peças produzidas, poderá ser uma garantia de que os resultados respondem aos padrões de design e estética exigidos.

Os aparelhos de medir a cor e o brilho denominam-se de refletômetros e a medição é efetuada sobre o produto, através do envio de um feixe de luz a um ângulo pré-definido. Normalmente as superfícies de alto brilho são medidas com um ângulo de luz pequeno, superfícies com brilho médio são medidas com ângulo médio e superfícies mate são medidas com um ângulo grande, uma vez que os ângulos de incidência proporcionam maior luz refletida (Streitberger and Goldschmidt, 2018).

Neste caso, a cor e o brilho das placas produzidas foram determinadas utilizando um medidor portátil Konica Minolta CM-25cG, tal como se pode observar na Figura 21. Neste aparelho o espectrofotômetro efetua medições a 45° e o sensor de brilho a 60°. Este ângulos não podem ser alterados pelo utilizado, encontrando-se já definidos pelo aparelho (Konica Minolta, s.d.).



Figura 21. Medidor de cor e brilho

A cor das peças é avaliada através da escala de cores CIELAB, Figura 22. Os eixos a e b são perpendiculares entre si, podem ter valores positivos ou negativos e não têm valores específicos. O eixo “a” representa a variação de verde para vermelho, onde os valores negativos (-a) representa a cor verde, enquanto o eixo com valores positivos (+a) representa a cor vermelha. Por outro lado, o eixo b* exprime a variação de azul para amarelo, onde os valores negativos (-b) representa a cor azul, e o valores positivos (+b) representa a cor amarela. O eixo L* indica o nível de luminosidade das peças, variando de 0 a 100,

sendo que o 0 representa a cor branca e o valor máximo, 100, representa a cor preta. A escala de cores CIELAB é aplicável a qualquer objeto cuja cor possa ser quantificada (Bao et al., 2020).

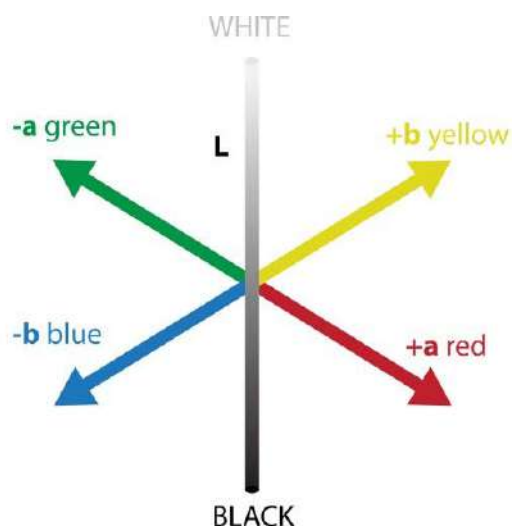


Figura 22. Escala CIELAB

4.3.2.3. Caracterização Mecânica

De forma a caracterizar o produto processado mecanicamente foi efetuado um ensaio de tração.

O ensaio de tração é um dos métodos mais utilizados para a caracterização mecânica de materiais, permitindo estudar a ductilidade/fragilidade destes, avaliando propriedades fundamentais tais como módulo de elasticidade, tensão de cedência, tensão de rotura e deformação de rotura. Durante o ensaio é aplicada uma força axial, a uma velocidade contante, até à falha que permite obter um gráfico da tensão em função da deformação.

Assim, com a realização do teste de tração é possível medir a força necessária para que um material atinja o seu ponto de rotura e a deformação sofrida durante o ensaio (ISO, 2012). O aparelho utilizado foi a máquina de ensaios de tração universal, INSTRON 5969, Figura 23.



Figura 23. Equipamento utilizado para tracionar os provetes

Para a realização dos ensaios foram utilizados provetes, com dimensões de 110x20 mm tal como representado na Figura 24. A distância pré-definida entre amarras foi de 110 mm e o ensaio decorreu a uma velocidade de 50 mm/min. Para cada ciclo de cada material foram ensaiadas 10 amostras. Durante a realização do ensaio foram registadas algumas informações como a força e o deslocamento, que posteriormente serviram para elaborar as curvas de tensão vs. deformação e determinar a tensão de cedência, tensão de rotura, deformação de rotura e modulo de elasticidade.

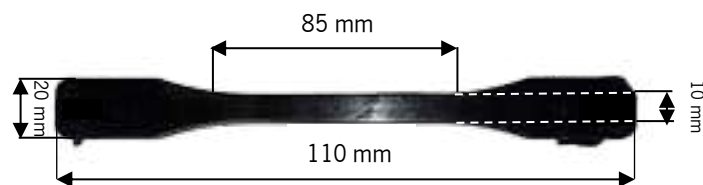


Figura 24. Dimensões dos provetes tracionados

4.4 Apresentação e Análise de Resultados

Neste capítulo é apresentada uma análise dos resultados obtidos nos ensaios de caracterização da matéria-prima virgem, da caracterização do material em termos mecânicos e avaliação estética da peça.

4.4.1 Caracterização da Matéria-Prima Virgem

Relativamente às propriedades térmicas da matéria-prima virgem de PC RE, foram realizados três ensaios de DSC, de modo a obter um resultado mais fidedigno. Verifica-se pela curva de DSC, Figura 25 que se trata de um material amorfo, com a temperatura de transição vítrea de 142°C. Uma vez que este polímero é amorfo, foi unicamente possível determinar a temperatura de transição vítrea, temperatura à qual ocorre a mudança do estado vítreo para o estado borracha.

Assim, é possível concluir que o PC RE apresenta a temperatura de transição vítrea é muito próxima da temperatura de transição vítrea descrita na ficha técnica do PC (144°C).

No Apêndice II, encontram-se representadas as três curvas de DSC obtidas, bem como uma tabela onde é possível observar os valores obtidos nos ensaios.

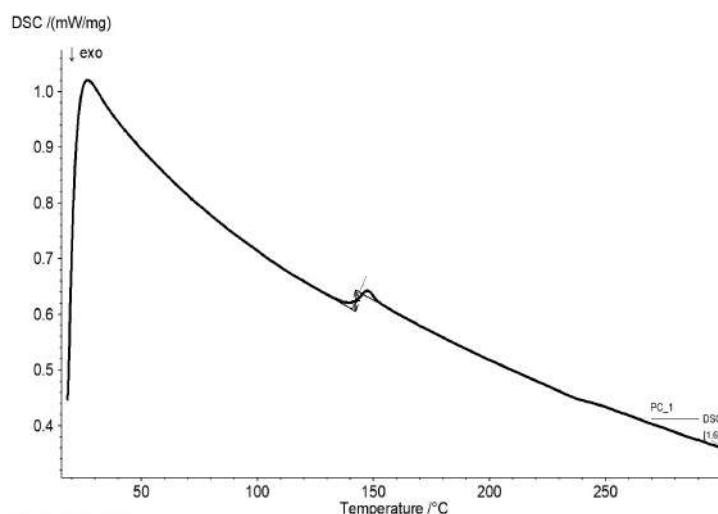


Figura 25. Curva DSC do PC RE

Relativamente às propriedades químicas o espectro de FTIR do PC RE, apresentado na Figura 26, permite observar as bandas características associadas ao material e verificar se está de acordo com a informação descrita na literatura para o PC. Destacam-se as bandas a 2968 cm⁻¹, que corresponde à vibração das ligações C-H nos grupos metileno (CH₂) e metil (CH₃). É típico de grupos alifáticos, como aqueles encontrados no policarbonato, e indica a presença destes grupos na estrutura química do polímero. O pico a 1770 cm⁻¹ é caracterizado pela vibração de estiramento da ligação C=O, comuns em

grupos éteres. A vibração da ligação C=C presente nos anéis aromáticos pode ser observada na banda localizada a 1504 cm⁻¹. Adicionalmente, as bandas encontradas a 1219 cm⁻¹ e 1188 cm⁻¹ indicam a vibração de estiramento das ligação C-O-C dos grupos ésteres aromáticos presentes no PC RE. A banda a 1080 é associada ao estiramento assimétrico das ligações C-O (Parshin, et al., 2013) (Aguiar, et al., 2018).

Assim é possível concluir que o espectro de FTIR do PC RE se assemelha com o espectro do polycarbonato convencional, indicando que as estruturas químicas principais são similares. As pequenas diferenças nas bandas adicionais podem ser devidas a variações específicas do processo de fabrico ou impurezas presentes no material de origem bio.

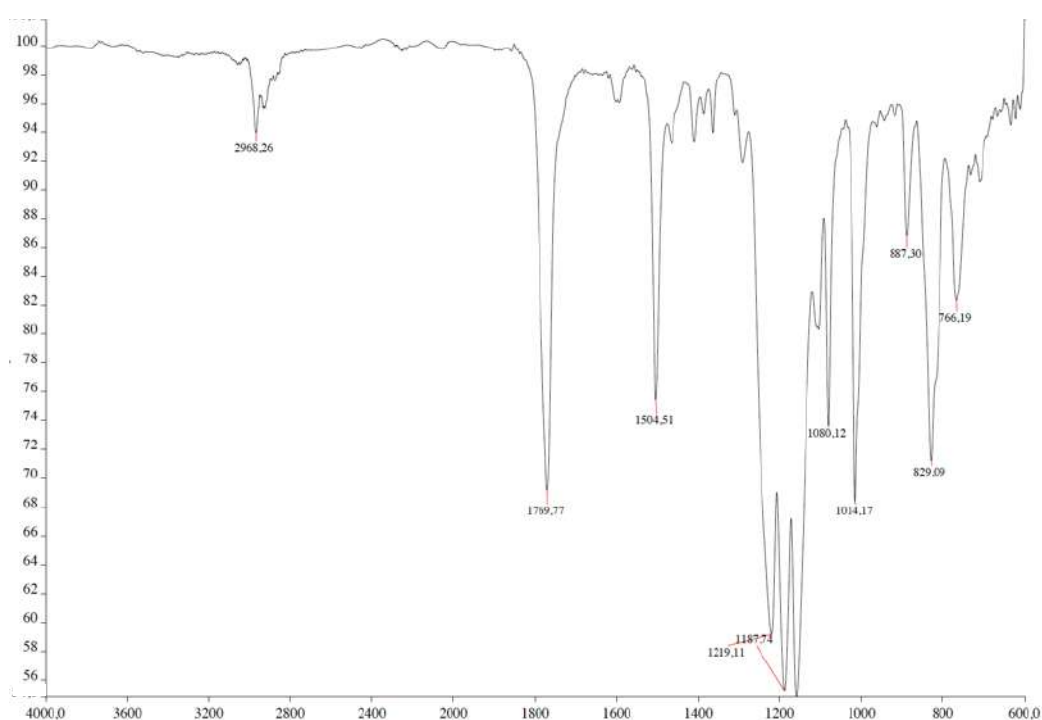


Figura 26. Espectro FTIR do PC RE

Relativamente às propriedades reológicas da matéria-prima virgem de PC e PC RE, com a realização do ensaio a 300°C foi possível obter o valor de MFI para os dois materiais. Na Tabela 21, encontram-se descritos os valores obtidos.

Tabela 21. Resultados do ensaio de MFI do PC virgem e PC RE virgem

Material	MFI experimental (g/10 min)	MFI ficha técnica (g/10min)
PC virgem	18,43 ± 1,54	20
PC RE virgem	17,22 ± 1,63	20

A diferença entre os valores, do PC virgem e do PC RE virgem para os valores que constam na ficha técnica (ambos 20g/10 min) pode ser explicada por erros que possam ter acontecido durante a realização do ensaio, como por exemplo não comprimir os grânulos o suficiente ou os cortes não serem feitos exatamente no instante de tempo que deveriam ser feitos.

4.4.2 Caracterização Estética da Peça

A olho nu, é possível depreender que a cor de ambas as placas é uniforme, não havendo manchas ou variações de cor.

Para cada placa foram efetuadas três medições em locais diferentes da superfície a partir dos quais o programa utiliza para apresentar a média de resultados para cada um dos parâmetros e coordenadas. A análise dos parâmetros "L", "a" e "b", Tabela 22, indica que ambas as placas apresentam características muito semelhantes, com pequenas variações nas suas tonalidades e brilho.

O valor de "L" é ligeiramente maior nas placas em PC RE em comparação com as placas em PC, sugerindo que as placas injetadas com PC RE são um pouco mais claras. A coordenada "a" é praticamente igual em ambas as placas, com valores de -0,20 e -0,21, indicando uma ligeira tendência para o verde. A coordenada "b", que representa a variação de azul para amarelo, é -1,21 para as placas produzidas em PC e -1,16 para as placas em PC RE, indicando que ambas as placas têm uma leve tendência para o azul.

Quanto ao brilho, ambos os tipos de placas apresentam valores muito próximos: 111,34 nas placas em PC e 111,44 em PC RE. As medições indicam que ambas as placas possuem propriedades óticas muito semelhantes, com as placas em PC RE a apresentando uma ligeira vantagem em termos de brilho.

Tabela 22. Medições cor e brilho das placas

Parâmetros	Placas PC	Placas PC RE
L	1,89	1,94
a	-0,20	- 0,21
b	-1,21	- 1,16
Brilho	111,34	111,44

A aparência visual de uma peça é fundamental, uma vez que a estética pode influenciar diretamente a percepção de qualidade e aceitabilidade do produto no mercado. Produtos visualmente atrativos podem destacar-se num mercado competitivo e influenciar a decisão de compras dos consumidores.

A avaliação estética é uma etapa essencial para assegurar que o PC RE pode substituir o PC sem

comprometer a parte estética das peças, estando alinhada com padrões de qualidade da empresa. Além disso, esta análise também pode revelar potenciais problemas de processamento, que poderão eventualmente ser corrigidos para aprimorar a qualidade final do produto.

Para esta avaliação, procedeu-se, tal como mencionado anteriormente, à injeção de placas tanto em PC, Figura 27. a), quanto em PC RE, Figura 27. b).

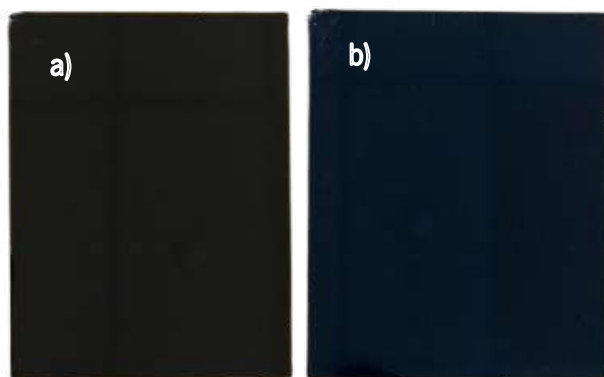


Figura 27. Placas injetadas: a) P; b) PC RE

Foi realizada uma avaliação comparativa, focada em cinco critérios: superfície e acabamento, inclusão de defeitos visuais, cor e uniformidade da cor, brilho e estabilidade dimensional. Esta análise foi realizada sob iluminação controlada de modo a ter uma melhor percepção visual da peça.

Inicialmente foram analisadas as placas, quanto à superfície e acabamento. Verificou-se que a superfície das placas em PC RE é uniforme, não havendo defeitos e irregularidades, tais como marcas ou defeitos resultantes do processamento, assemelhando-se desta forma ao aspeto das placas em PC.

Quanto ao acabamento desta placas, foi possível concluir que é brilhante e apelativo.

A nível da estabilidade dimensional foram efetuadas medições às placas no momento após a injeção e depois de um período de tempo (72h), com a finalidade de avaliar qualquer distorção ou variação dimensional. Foi possível concluir que as placas injetadas com PC RE têm estabilidade dimensional, tendo sido mantidas as dimensões originais (110x90x3 milímetros).

Assim, tanto a nível da avaliação da cor e brilho, bem como com a avaliação a nível estético as placas em PC RE assemelham-se ao aspeto das placas em PC. Conclui-se assim que a substituição do PC pelo PC RE é a aprovada neste contexto.

4.4.3 Caracterização Mecânica

Tal como mencionado anteriormente, para caracterizar o produto mecanicamente foi efetuado um ensaio de tração.

No presente caso de estudo, foram efetuados ensaios em 10 amostras de cada material. Para cada conjunto de ensaios procedeu-se ao cálculo da média e desvio padrão das propriedades obtidas, Tabela 23.

Tabela 23. Resultados ensaio de tração PC 1º ciclo e PC RE 1º ciclo

Ciclo Produtivo	Tensão de Cedência (MPa)	Tensão de Rotura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação de Rotura (%)
PC 1º ciclo	$61,29 \pm 0,43$	$48,89 \pm 4,91$	$1,30 \pm 0,09$	$45,28 \pm 28,39$
PC RE 1º ciclo	$60,43 \pm 0,70$	$55,34 \pm 1,79$	$1,37 \pm 0,05$	$84,69 \pm 2,77$

A Figura 28 compila o gráfico de tensão/deformação dos dois materiais estudados. Para a elaboração deste gráfico, foi selecionada a curva que representava o melhor comportamento (maior deformação) de cada material.

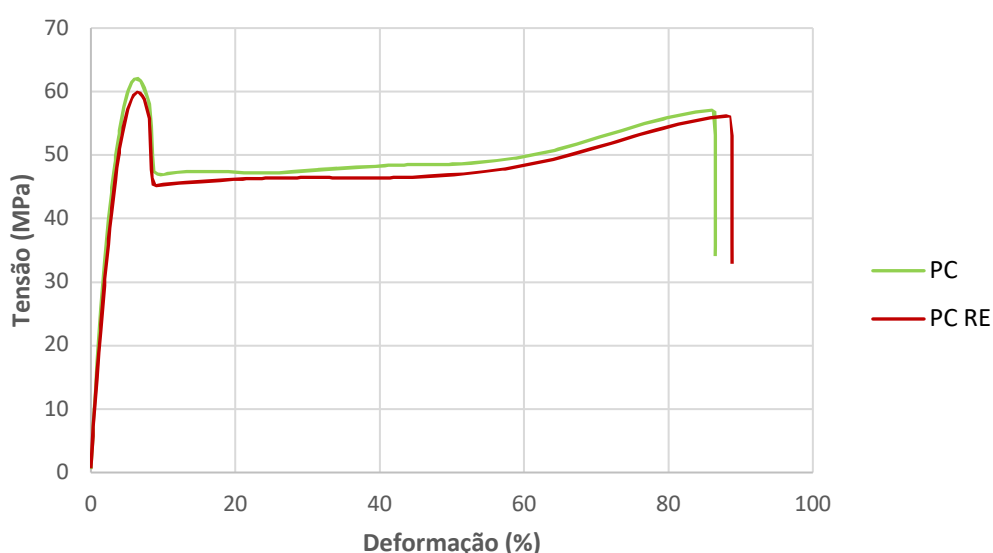


Figura 28. Curvas Tensão vs Deformação dos dois materiais

Através da análise de resultados é possível verificar que não existem alterações significativas nas propriedades de módulo de elasticidade, tensão de cedência e tensão de rotura. Já no que toca à deformação de rotura, verifica-se que o PC RE tem uma maior capacidade de deformação. Isto significa que o material de origem natural tem uma maior capacidade de deformar antes da rotura, comparativamente com o polímero de base petrolífera.

4.5 Avaliação do ciclo de reprocessamento

Este capítulo foca-se na avaliação do ciclo de reprocessamento, com o objetivo de investigar o comportamento do PC RE em comparação com o PC quando submetidos a múltiplos ciclos de reprocessamento. A análise visa determinar se o PC RE mantém características funcionais semelhantes às do PC, garantindo a viabilidade na substituição. Para tal, será avaliada a evolução do índice de fluidez do material fundido e das propriedades mecânicas ao longo dos ciclos de reprocessamento.

Inicialmente procede-se ao estudo da evolução do MFI mecânicas ao longo dos ciclos de reprocessamento. Tal como para o material virgem o aparelho foi colocado a uma temperatura de 300°C e o pistão carregado com uma carga de 1,2 kg.

No decorrer do ensaio, foram retiradas e pesadas no mínimo 10 amostras onde, para todos os casos, foram descartados os valores mais distantes.

Os resultados dos ensaios encontram-se representados na Tabela 24.

Tabela 24. Resultados MFI dos 5 ciclos de reprocessamento do PC e PC RE

Ciclo Produtivo	MFI (g/10 min)	
	PC	PC RE
1º ciclo	22,536 ± 1,586	22,572 ± 3,226
2º ciclo	23,914 ± 3,964	23,366 ± 4,133
3º ciclo	24,516 ± 4,246	24,240 ± 2,421
4º ciclo	25,260 ± 1,808	25,680 ± 1,718
5º ciclo	28,956 ± 1,332	26, 508 ± 1,383

Numa visão geral dos resultados dos cinco ciclos de processamento do PC e do PC RE, é possível observar um padrão de aumento de MFI consistente com o aumento do ciclo de processamento. Desta forma, conclui-se que ao longo dos ciclos produtivos ambos os materiais vão se tornando cada vez mais fluidos, isto é, menos viscosos. De acordo com a literatura, esta alteração da fluidez do material, aumento do MFI, deve-se ao facto de ao longo dos ciclos de reprocessamento o material vai se degradando, ocorrendo a quebra de ligações moleculares. Com a quebra de ligações moleculares, o peso molecular diminui, tornando o polímeros mais fluido, quando aquecido, tornando-o assim mais fácil de processar.

Numa perspetiva comparativa entre os dois materiais é possível concluir que o PC, pela análise do gráfico da Figura 31 e dos valores obtidos, que quando submetido a sucessivos ciclos de processamento sofre uma degradação mais acentuada comparativamente ao PC RE. Desta forma, ocorre uma quebra

das cadeias mais rapidamente no PC, resultando num aumento mais expressivo na fluidez. Quanto ao desvio padrão, em ambos os materiais diminui nos ciclos finais, indicando que a fluidez do material vai se tornando mais uniforme à medida que o reprocessamento avança.

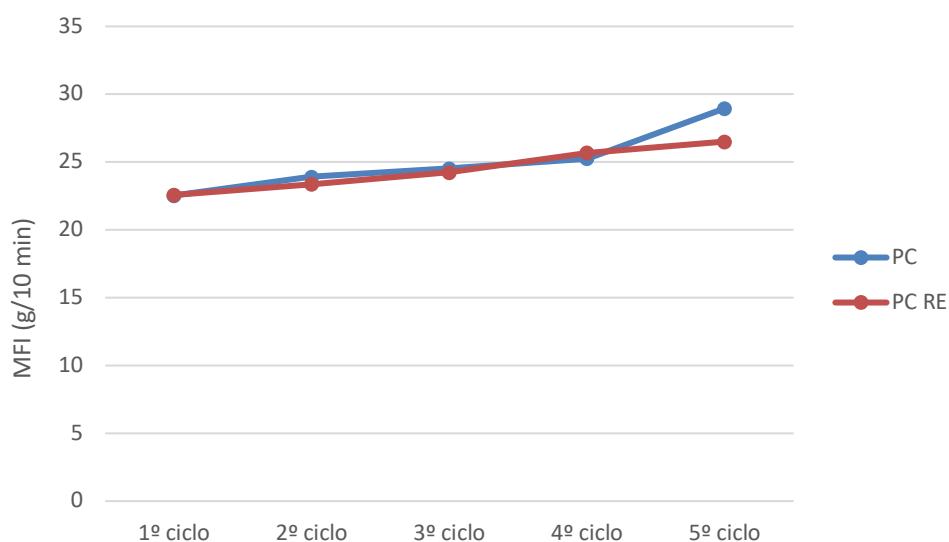


Figura 29. Evolução MFI ao longo dos ciclos de reprocessamento

Para o estudo da evolução das propriedades mecânicas ao longo dos ciclos de reprocessamento foi efetuado um ensaio de tração. Foram efetuados ensaios em 10 amostras de cada ciclo de processamento, para cada material. Após a realização dos ensaios procedeu-se ao cálculo da média e desvio padrão das propriedades obtidas. Na Tabela 25 e Tabela 26 podem-se observar os valores obtidos.

Pela análise da Tabela 25 é possível verificar que num modo geral a tensão de rotura e tensão de cedência diminui com o aumento dos ciclos de processamento, já o módulo de elasticidade aumenta com o aumento dos ciclos de processamento. Este comportamento demonstrado pelo PC seria o esperado. A Figura 30 mostra a tendência destas propriedades com o aumento dos ciclos de processamento do PC.

Pela análise da Tabela 26 é possível verificar que não se verifica uma diminuição tão uniforme na tensão de rotura e a tensão de cedência como no PC. O módulo de elasticidade do PC RE apresenta uma variação ao longo dos ciclos de reprocessamento, alternando entre aumentos e reduções. A Figura 31 mostra a tendência destas propriedades com o aumento dos ciclos de processamento do PC RE.

Através da análise de ambas as tabelas é possível concluir que comparando o mesmo ciclo de reprocessamento em ambos os materiais não existem alterações significativas nas propriedades módulo de elasticidade, tensão de cedência e tensão de rotura. Relativamente à deformação de rotura, os valores de desvio padrão grandes comprovam a variabilidade de deformações dos provetes.

Assim, conclui-se que os dois materiais tem um comportamento mecânico semelhante, tendo padrões de deformação distintos.

Tabela 25. Resultados dos ensaios de tração do PC

Ciclo Produtivo	Tensão de Cedência (MPa)	Tensão de Rotura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação de Rotura (%)
PC 1º ciclo	61,29 ± 0,43	48,89 ± 4,91	1,30 ± 0,09	45,28 ± 28,39
PC 2º ciclo	60,63 ± 0,48	46,54 ± 4,12	1,33 ± 0,06	42,51 ± 25,29
PC 3º ciclo	60,30 ± 0,41	46,48 ± 1,73	1,38 ± 0,05	37,13 ± 16,93
PC 4º ciclo	60,54 ± 0,70	46,54 ± 4,68	1,34 ± 0,05	34,17 ± 22,07
PC 5º ciclo	57,36 ± 11,10	47,79 ± 10,00	1,43 ± 0,14	10,27 ± 7,83

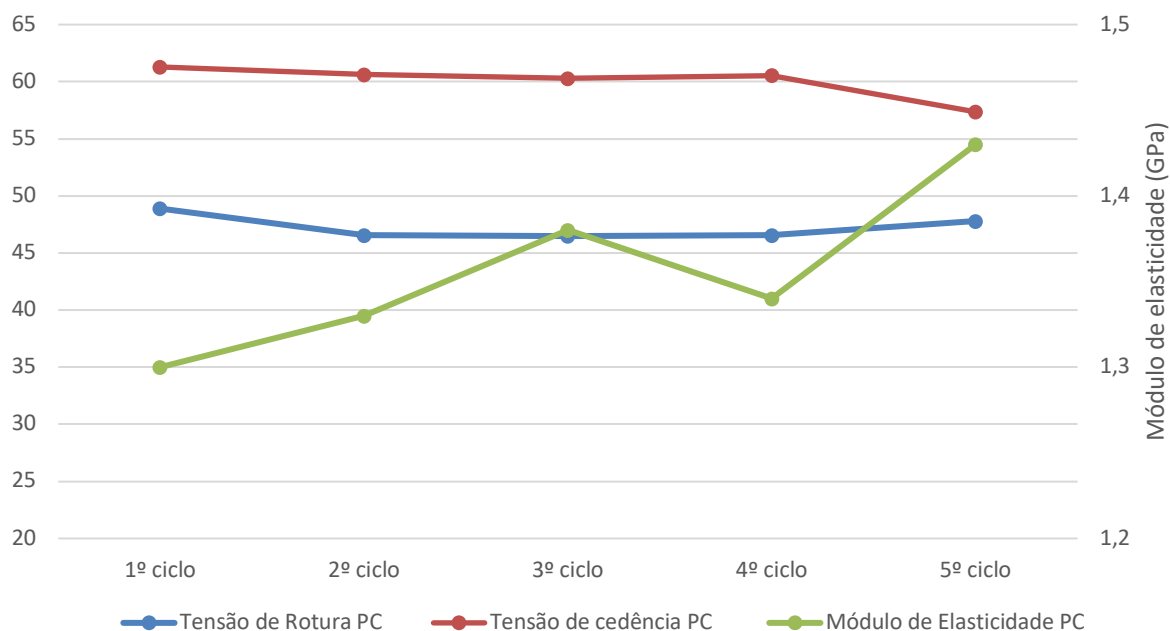


Figura 30. Tendência da tensão de cedência, tensão de rotura e módulo de elasticidade do PC com o aumento dos ciclos de processamento

Tabela 26. Resultados dos ensaios de tração do PC RE

Ciclo Produtivo	Tensão de Cedência (MPa)	Tensão de Rotura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação de Rotura (%)
PC RE 1º ciclo	60,43 ± 0,70	55,34 ± 1,79	1,37 ± 0,05	84,69 ± 2,77
PC RE 2º ciclo	58,11 ± 6,16	46,14 ± 4,75	1,42 ± 0,10	32,24 ± 27,56
PC RE 3º ciclo	55,47 ± 7,45	47,65 ± 5,08	1,38 ± 0,12	48,42 ± 36,00
PC RE 4º ciclo	59,98 ± 1,48	52,62 ± 3,69	1,29 ± 0,03	63,77 ± 30,23
PC RE 5º ciclo	57,33 ± 8,97	45,43 ± 10,54	1,32 ± 0,12	56,51 ± 28,96

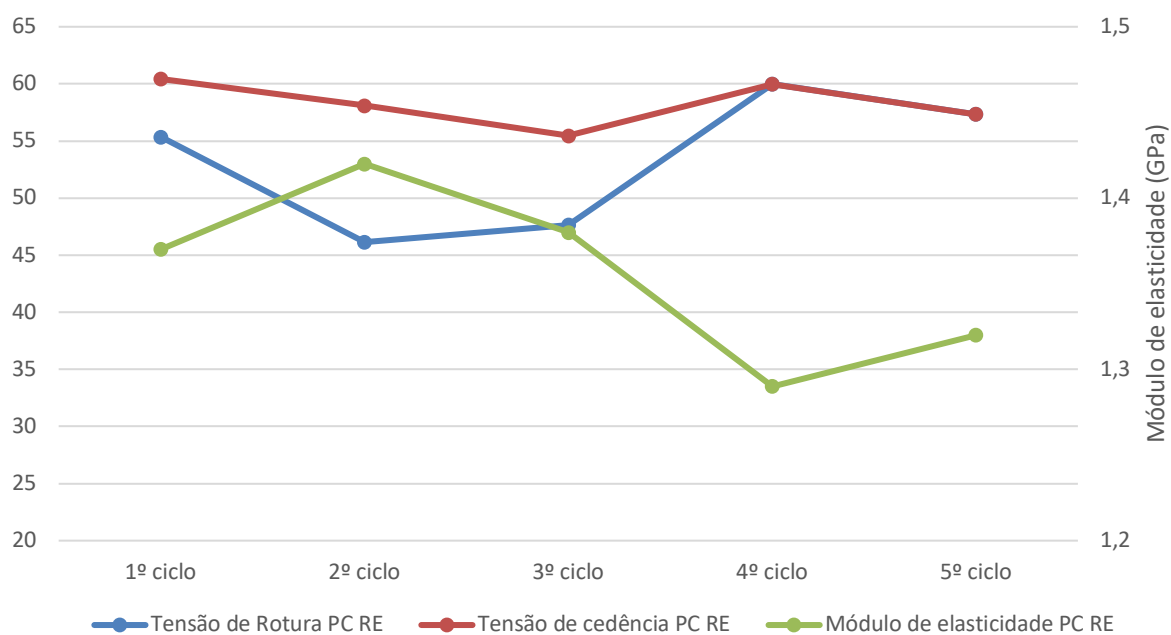


Figura 31. Tendência da tensão de cedência, tensão de rotura e módulo de elasticidade do PC RE com o aumento dos ciclos de processamento

A Figura 32 compila as curvas tensão vs. deformação de cada ciclo de reprocessamento do PC. Para a obtenção deste gráfico foi selecionada a curva, de cada ciclo de reprocessamento, com valores mais próximos das médias calculadas. Na Figura 33 compila as curvas tensão vs. deformação de cada ciclo de reprocessamento do PC RE. A seleção das curvas foi efetuada de forma análoga a do PC.

Pela análise das duas figuras é possível concluir que ambos os polímeros são dúcteis e mantêm o seu comportamento dúctil ao longo dos ciclos de reprocessamento.

No Apêndice III é possível as 10 curvas tensão vs. deformação para cada ciclo de reprocessamento de cada material.

No Apêndice IV é possível observar os provetes após os ensaios de tração.

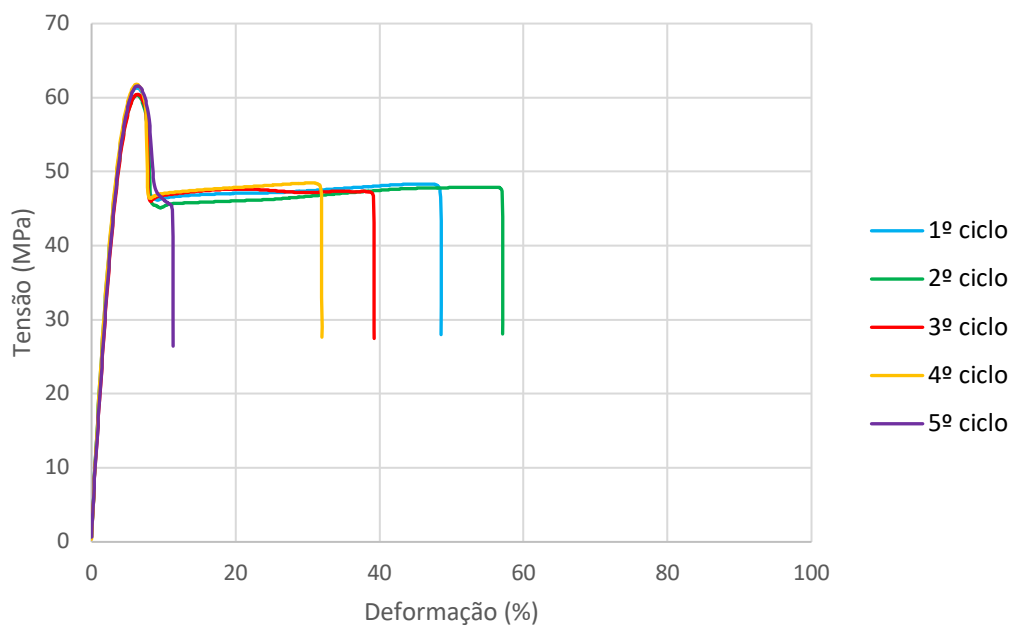


Figura 32. Curvas Tensão vs. Deformação do PC

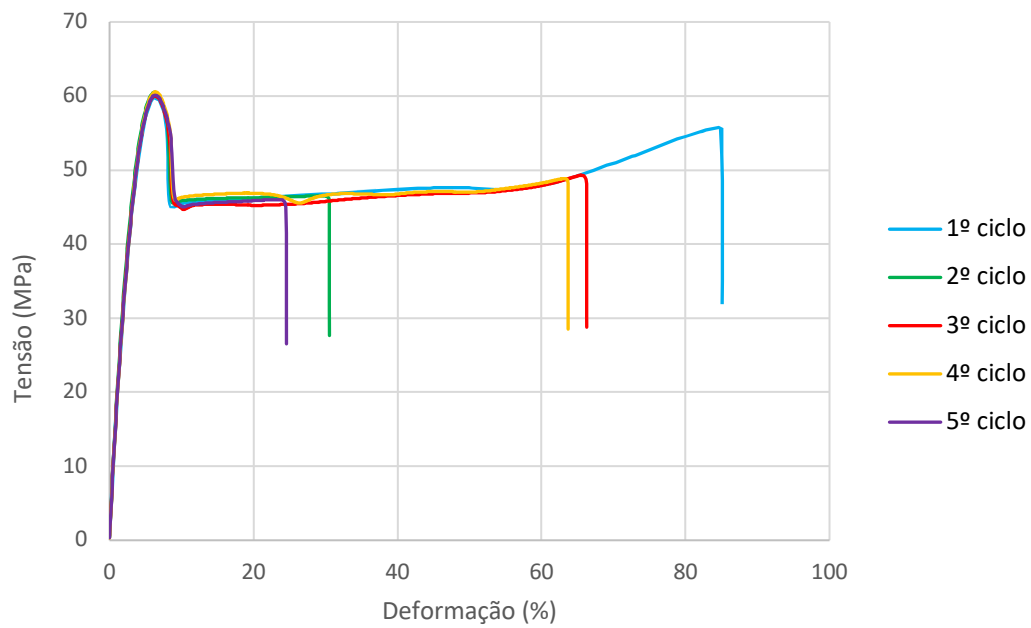


Figura 33. Curvas Tensão vs. Deformação do PC RE

Para tentar perceber o motivo de verificamos valores de deformação distintos dentro do mesmo ciclo de reprocessamento e a presença de em muitos casos duas populações, como é possível verificar, por exemplo, na Figura 43 do Apêndice III , foi efetuada uma análise à superfície de alguns provetes.

Para visualizar de forma ampliada a superfície onde alguns provetes tracionados quebram foi utilizada a lupa *Leica DMS 1000*. No Apêndice V encontram-se representadas as diferentes zonas de cada provete tracionados.

A superfície do provete 5 e 6 do 3º ciclo de reprocessamento do PC encontram-se representadas na Figura 34. Pela análise desta figura é possível concluir que a fratura do provete 5 não é uniforme apresentando pequenos relevos (incrustações). O provete 6 apresenta pequenas fissuras e pequenas partículas brancas ao longo da sua superfície, encontrando-se o ponto de início da fratura no canto inferior direito. O provete 6 tem uma menor deformação quando comparada com o provete 5, este acontecimento pode se dever à presença das pequenas partículas brancas.

Relativamente aos provetes referentes ao 4º ciclo de reprocessamento do PC, Figura 35, verifica-se que o provete 3 e o provete 5 apresentam uma superfície semelhante entre si, mas o provete 5 apresenta uma pequena partícula branca localizada no local onde se inicia a rotura. Comparando as curvas tensão vs. deformação destes dois provetes, de forma a verificar se a presença desta partícula pode ter tido alguma influência, verifica-se que o provete que apresenta uma pequena partícula branca partiu mais facilmente. Desta forma, é possível deduzir que esta partícula afetou o comportamento do material.

Na Figura 36 é possível observar a superfície do provete 9 relativo ao 3º ciclo de reprocessamento do PC RE. Pela análise da Figura 50 do Apêndice III verifica-se que este provete partiu mal se inicio o ensaio de tração. Este comportamento do provete é justificado pelas pequenas cavidades, vazios, presentes na zona esquerda da superfície do provete.

Na Figura 37 é possível observar a estrutura do provete 7 e do provete 3 do 4º ciclo de reprocessamento do PC RE. Verifica-se que existe uma marca concêntrica (local onde começa a ocorrer a quebra) em ambos os provetes, sendo mais acentuada no provete 3. Em ambos os provetes é possível verificar a presença de pequenas partículas brancas. Pela análise da Figura 51 do Apêndice III verifica-se que o provete 7 apresenta uma deformação inferior ao do provete 3.

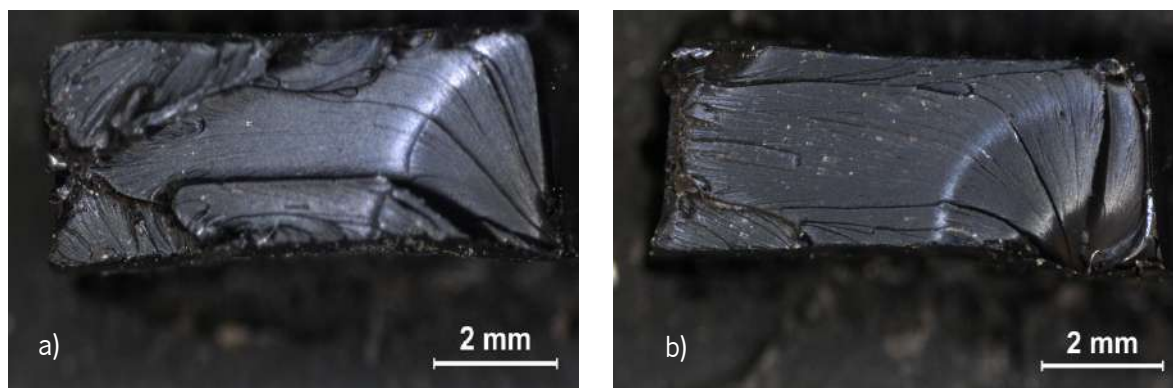


Figura 34. PC 3º ciclo: a) provete 5; b) provete 6

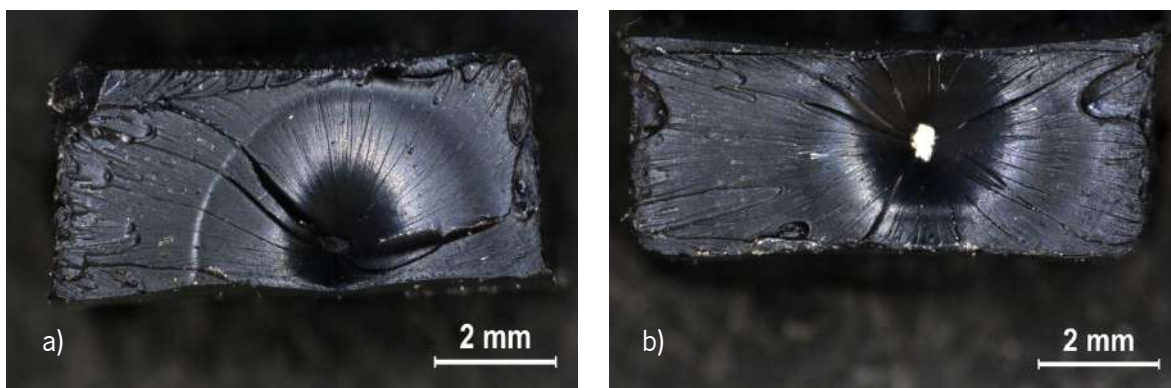


Figura 35. PC 4º ciclo: a) provete 3; b) provete

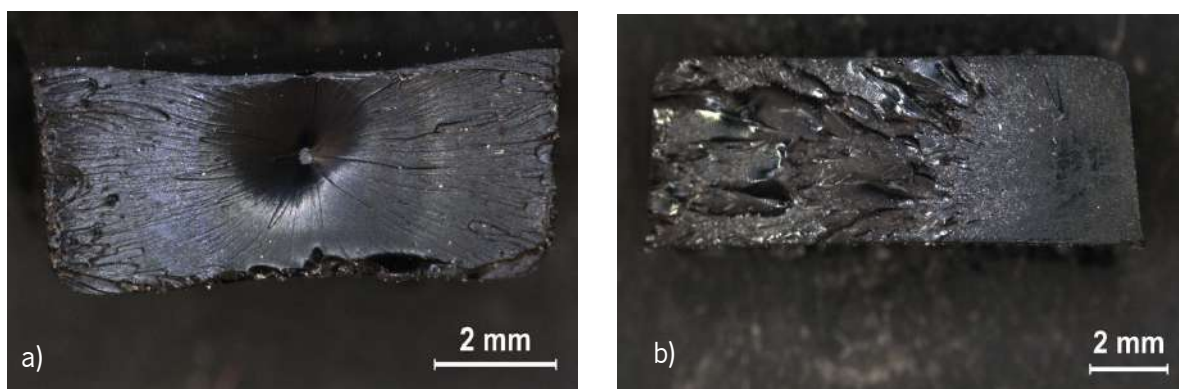


Figura 36. PC RE 3º ciclo: a) provete 8; b) provete 9

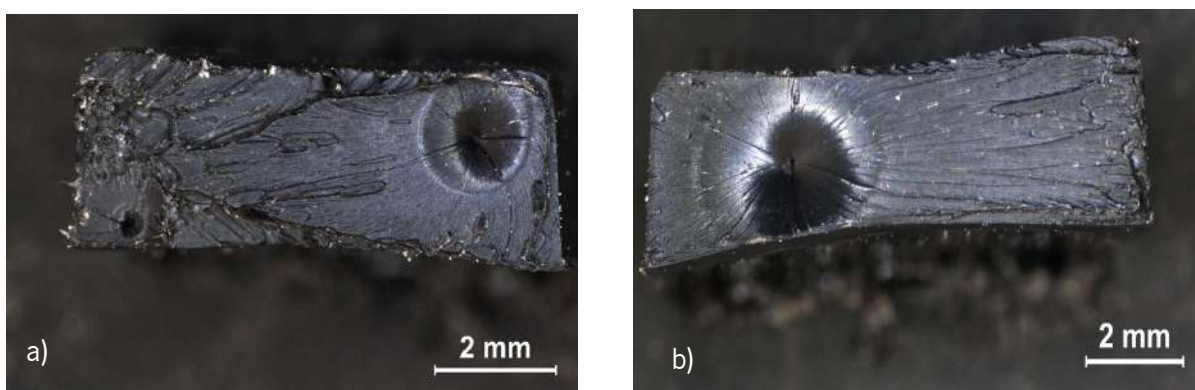


Figura 37. PC RE 4º ciclo: a) provete 3; b) provete 7

De forma a tentar perceber o que eram as partículas brancas presentes em maior/menor quantidades e dimensões na superfície dos provetes recorreu-se à microscopia eletrónica de varrimento (SEM). Efetuou-se a análise da superfície do provete 5 e do provete 4 do 4º ciclo e 5º ciclo de reprocessamento do PC, respetivamente. Analisou-se ainda a superfície do provete 7 do 4º ciclo de reprocessamento do PC RE. Na Figura 38, 39 e 40 encontram-se representadas as imagens obtidas para cada uma destas superfícies.

Numa análise das figuras concluiu-se que as partículas brancas são agregados de *masterbatch* que parece que não estão bem dispersos na matriz do polímero.

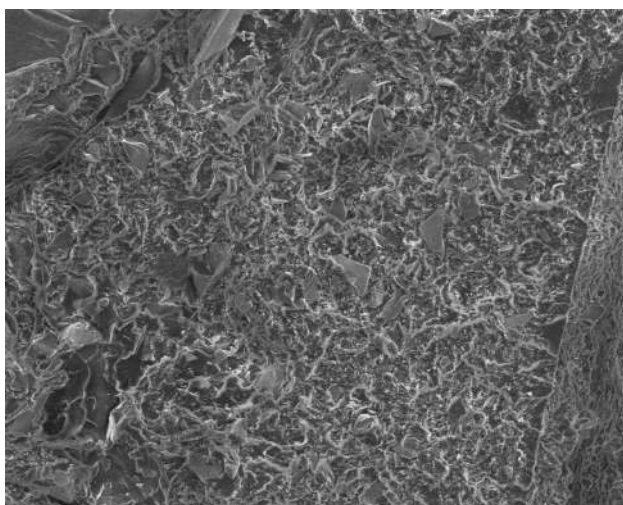


Figura 38. Imagem obtida por SEM da superfície do provete 5 do 4º ciclo de reprocessamento do PC

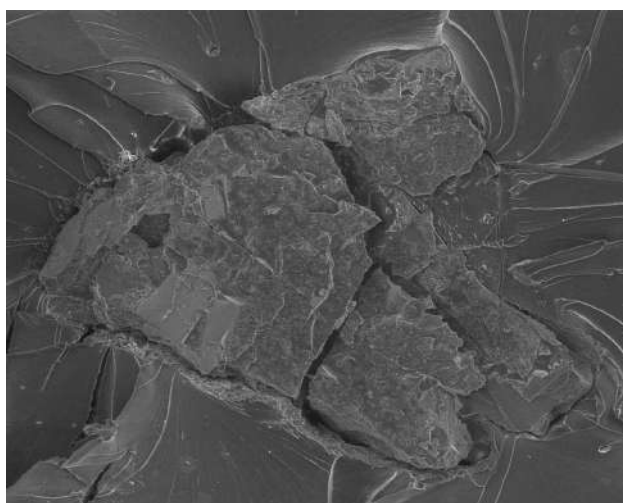


Figura 39. Imagem obtida por SEM da superfície do provete 4 do 5º ciclo de reprocessamento do PC

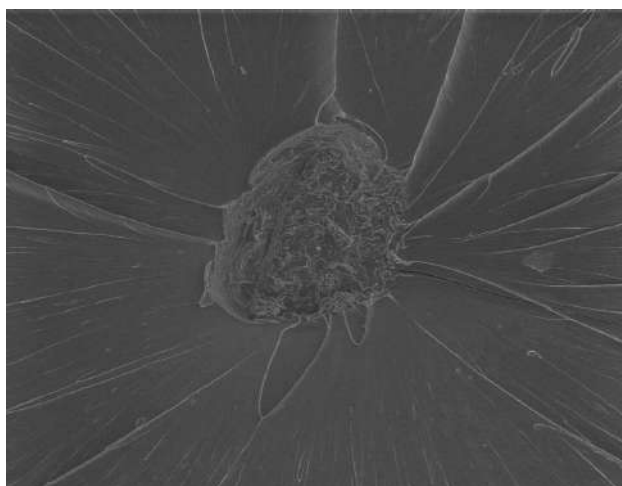


Figura 40. Imagem obtida por SEM da superfície do provete 7 do 4º ciclo de reprocessamento do PC RE

5. INFLUÊNCIA DOS BIOPOLÍMEROS NO VALOR DA PEGADA DE CARBONO

Para comparar os custos da produção entre os biopolímeros e os polímeros convencionais, assim como, o impacto ambiental é necessário efetuar uma análise de custos e o cálculo da PCP, respetivamente.

A realização de uma análise de custos associados à produção irá permitir comparar os gastos associados à produção de uma peça com um polímero de origem petrolífera e um biopolímero. Esta análise proporcionará uma visão abrangente dos custos envolvidos na produção, bem como se a nível monetário a alteração da matéria-prima se torna rentável. Já o cálculo da PCP, irá permitir concluir se a alteração da matéria-prima representa tal como esperado uma mudança sustentável.

5.1 Análise de Custos

A análise de custos é uma componente essencial na gestão de qualquer processo produtivo, dado que permite identificar e otimizar os recursos financeiros envolvidos. Desta forma, realizou-se uma análise de custos da produção da peça em estudo com o polímero convencionalmente utilizado (PC) e com o novo material (biopolímero) em estudo. Assim, serão contabilizados os custos da aquisição da matéria-prima e da produção da peça em estudo. O transporte da peça para o cliente não será contabilizado nesta análise, uma vez que é da responsabilidade do cliente, não representando um encargo financeiro para a Fehst.

Relativamente aos consumos de matéria-prima, estes englobam a matéria-prima utilizada para a peça injetada e o material resultante do jito. Com o auxílio do departamento de produção, efetuou-se o levantamento dos dados da quantidade de polímero utilizado (material para a peça + jito) para produção da peça. Recorreu-se ainda ao departamento de compras da empresa, de forma a determinar o custo de 1 kg do material utilizado na peça e do novo material em estudo. Através de uma relação de proporcionalidade direta, obteve-se o custo da matéria-prima efetivamente utilizado na produção da peça.

Sabe-se assim que o custo associado à compra do polímero convencional e do biopolímero é de aproximadamente 0,166 € e 0,250€, correspondentemente.

Para o cálculo do custo associado ao processo de injeção é necessário considerar os custos associados a cada processo com base na tarifa da máquina ($T_{máq.} / h$), tarifa do operador ($T_{op.} / h$), respetivo tempo de ciclo e número de peças por ciclo de injeção. Assim, recorre-se à fórmula de cálculo expressa na Equação 4 (Janik & Ryszko, 2017).

$$Custo_{processo} = \frac{T_{máquina} + (T_{operador} \times n^{\circ}operadores)}{3600} \times \frac{t_{ciclo}}{n^{\circ}peças\ por\ ciclo} \text{ (Equação 4)}$$

Neste caso, sabendo que o tempo de ciclo é de 30 s, obtém-se o custo aproximado de 0,27€ para a injeção de uma peça. O custo da injeção da peça é independente do material utilizado.

Assim sendo, o custo da produção de uma peça é de 0,44 € caso se utilize o PC e de 0,52 € utilizando o PC RE. Os cálculos auxiliares encontram-se detalhados no Apêndice VII.

5.2 Pegada de Carbono do Produto

Tal como mencionado anteriormente, será efetuado o cálculo da PCP de forma a comparar as emissões resultantes da produção da peça em estudo com o polímero convencionalmente utilizado e um biopolímero. Com a determinação da PC será possível concluir se a alteração da matéria-prima utilizada irá ter algum impacto positivo nas emissões libertadas para a atmosfera.

Uma avaliação conclusiva sobre os valores da PCP requer um profundo conhecimento das unidades funcionais, as fronteiras do sistema e outras informações base para possibilitar a análise do inventário e o seu cálculo (Alves, 2021). Deve ser inicialmente estabelecido um método de quantificação para o estudo das emissões de GEE. Para o caso de estudo, o método de quantificação adotado encontra-se descrito na Figura 41.

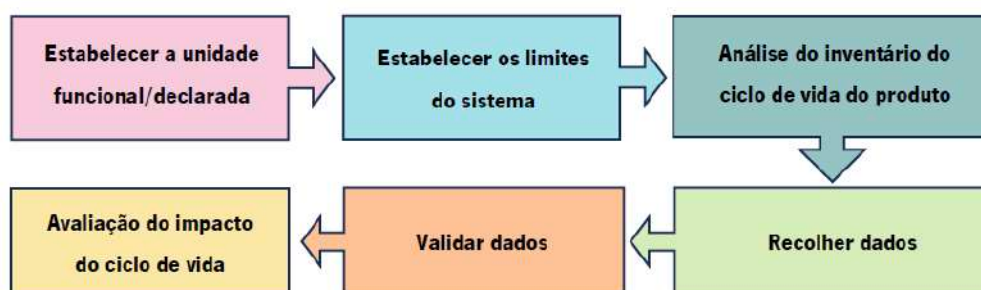


Figura 41. Método de quantificação adotado

O cálculo da pegada de carbono do produto será a soma da pegada de carbono de todas as etapas do ciclo de vida.

A pegada de carbono de cada entrada, com exceção da pegada de carbono do transporte, é calculada através da multiplicação do FE, pelos consumos (G, em kW para fontes de energia, em km para o transporte ou em kg para as restantes entradas). O cálculo da pegada de carbono do transporte é idêntico, sendo necessário multiplicar pelo fator de alocação.

Neste estudo serão só considerados os processos diretamente relacionados com produto. As embalagens para o transporte das peças desde as instalações da empresa até às do cliente, são

retornáveis para uso em lotes subsequentes, ou seja, fornecidas pelo cliente. Desta forma são desconsideradas para efeitos de cálculo.

A abordagem adotada neste estudo foi a *Cradle to Gate*. Desta forma nos seguintes subtópicos será detalhada e calculada a pegada de carbono das diferentes etapas, do ciclo de vida da peça em estudo.

Os FE utilizados nos cálculos de cada uma das etapas, seguidamente descritas, encontram-se detalhados no Apêndice VIII.

5.2.1 Produção da Matéria-Prima

Nesta categoria, foram contabilizadas as emissões associadas à extração de combustíveis fósseis para a produção do polycarbonato adquiridos pela empresa no ano base. Desta forma, tornou-se necessário definir o FE associado à produção das duas matérias-primas abordadas neste estudo. Após dispor deste dado, através de uma relação de proporcionalidade direta entre a quantidade de matéria-prima utilizada na produção da peça (peça + jito) e o FE, determinou-se as emissões correspondentes à produção da matéria-prima utilizada no fabrico do elemento em estudo.

Determinou-se então que as emissões associadas à produção do polycarbonato e do biopolímero são 0,1463 kgCO₂eq e 0,0707 kgCO₂eq, respetivamente.

5.2.2 Aquisição da Matéria-Prima

Entende-se por aquisição da matéria-prima o transporte up, que diz respeito às emissões associadas ao transporte da matéria-prima adquirida pela empresa desde as instalações do fornecedor até às instalações da fábrica. Para a quantificação das emissões nesta fase do processo, é necessário conhecer alguns dados relativos a este transporte: distância entre as instalações dos fornecedores e as da Fehst, o tipo de veículo que efetua o transporte, o combustível deste e o FA.

Assim, foi inicialmente feito um levantamento das distâncias entre as instalações dos fornecedores e as da Fehst. De seguida, foi recolhida toda a informação a respeito das características do veículo, de modo a ser possível definir o FE do veículo. Por fim, foi necessário conhecer o FA, da mercadoria no veículo.

Uma vez que a matéria-prima adquirida não é na sua totalidade usada para a produção da peça em estudo, estabeleceu-se uma relação entre a quantidade de matéria-prima adquirida e a que efetivamente é utilizada. Através de dados internos da empresa é possível saber a quantidade de matéria-prima adquirida, permitindo determinar as emissões resultantes do transporte da matéria-prima adquirida

através da multiplicação da distância, pelo FE do veículo e o FA, Equação 5. Por fim, através de uma relação de proporcionalidade direta, entre a quantidade matéria-prima adquirida e emissões, foi possível determinar o valor equivalente à quantidade utilizada para a produção da peça.

$$PC_{transporte\ up} = G_{transporte} \times FE_{combustível} \times FA_{transporte} \text{ (Equação 5)}$$

Determinou-se então que foram emitidos 0,077 kgCO₂eq resultantes do transporte up. Este valor será igual independentemente do polímero utilizado uma vez que, tanto o PC como o PC RE são materiais do mesmo fornecedor.

5.2.3 Processamento da Matéria-Prima

Admite-se por processamento da matéria-prima, o conjunto de operações e etapas necessárias para transformar a matéria-prima em produtos finais ou produtos intermédios, que possam ser usados em processos de fabrico adicionais. Para a produção da peça em estudo o processo de transformação utilizado é a moldação por injeção.

Para esta etapa foi considerado os consumos energéticos resultantes da produção da peça. Desta forma, tornou-se necessário conhecer a energia elétrica consumida na produção de uma peça e o FE da eletricidade. Uma vez, que não se encontra estabelecida a energia consumida por peça, foi necessário determinar este valor através da multiplicação da potência da máquina pelo tempo de ciclo de produção da peça. O FE considerado foi o discriminado na fatura mensal do fornecedor de eletricidade.

Após dispor de toda a informação necessária procede-se ao cálculo da pegada de carbono, sendo esta sensivelmente 0,0252 kgCO₂eq para o PC e também de 0,0252 kgCO₂eq para o PC RE, dado que o tempo de ciclo é igual.

Durante a produção de peças por moldação por injeção podem ocorrer alguns defeitos resultantes de condições de processamento inadequadamente programadas, problemas dimensionais, entre outros, tornando-as em peças NOK. Desta forma, foi contabilizado o fator refugo neste estudo. Inicialmente foi feito um levantamento do número de peças produzidas no decorrer do ano de 2023 e quantas destas foram peças NOK, com o objetivo de estabelecer uma relação entre o número de peças produzidas e o refugo. Determinou-se que uma em cada cinquenta peças é NOK.

Desta forma, contabilizou-se as emissões resultante da produção da peça NOK (produção da matéria-prima + transporte up + processamento da peça) e multiplicou-se esse valor por 0,02 (1/50). Determinou-se que para a produção de uma peça são emitidas 0,1793 kgCO₂eq caso o polímero utilizado seja o PC e 0,1037 KgCO₂eq no caso do PC RE. Assim, obtém-se que são emitidas 0,0036 kgCO₂eq e 0,0021kgCO₂eq da produção de peças NOK em PC e PC RE, respetivamente.

5.2.4 Transporte/Distribuição

A etapa do transporte/distribuição é referente ao transporte downstream, isto é, transporte dos produtos gerados pela empresa desde as suas instalações até ao respetivo cliente. No caso da peça em estudo, o cliente tem as suas instalações em Setúbal, Portugal. Como o transporte de mercadoria é feito para mais do que uma peça, é necessário estabelecer uma relação que quantifique apenas as emissões associadas ao produto para a qual se está a calcular a PC.

Para a quantificação da pegada de carbono desta etapa é necessário proceder de forma semelhante ao transporte *upstream*, ter conhecimento das características do veículo e do transporte e da distância entre a origem e o destino.

Atendendo a dados internos da empresa é possível saber a quantidade de peças que são enviadas em cada transporte para o cliente. Esta informação permite determinar as emissões resultantes de cada transporte efetuado, através da multiplicação da distância, pelo FE do veículo e o FA. Por último, através de uma relação de proporcionalidade direta, entre a quantidade de peças transportadas e emissões foi possível determinar o valor equivalente das emissões resultantes do transporte de uma peça. Após dispor de todos os dados necessários procede-se ao cálculo da PC, sendo esta igual a aproximadamente 0,0123 kgCO₂eq. Este valor será igual independentemente da matéria-prima utilizada na produção da peça, uma vez que o cliente será o mesmo.

Desta forma, conclui-se que caso a peça seja produzida com o polímero convencional (PC) o valor da PCP é de 0,1950 kgCO₂eq. Já se a peça for produzida com o biopolímero, terá uma PCP de 0,1179 kgCO₂eq. Na Tabela 27, encontram-se descritos detalhadamente os valores da PC em cada etapa do ciclo de vida do produto e os valores finais da PCP. Pela análise desta tabela, é possível concluir que nas etapas “produção da matéria-prima” e “refugo”, a utilização do biopolímero resulta numa diminuição das emissões para metade. Num cenário geral, com a substituição do polímero de origem fóssil pelo de origem natural, o valor da PCP reduz em aproximadamente 39,5%, o que nas cerca de 230 000 peças em estudo produzidas anualmente representa uma diminuição próxima de 17 tCO₂eq nas emissões resultantes das suas produções.

Tabela 27. Pegada de Carbono do Produto caso a peça seja produzida com PC ou PC RE

Categoria	PC	%	PC RE	%
Produção da Matéria-Prima	0,1463	74,97%	0,0708	59,92%
Aquisição da Matéria-Prima	0,0077	3,97%	0,0077	6,56%
Processamento da Matéria-Prima	0,0252	12,94%	0,0252	21,37%

Refugo	0,0034	1,84%	0,0021	1,76%
Transporte/Distribuição	0,0122	6,28%	0,0122	10,39%
Total (kgCO ₂ eq)	0,1950	100%	0,1179	100%

A nível da PCO, a mudança da utilização de polímeros de origem petrolífera para polímeros de origem natural, terá um impacto no âmbito 3 na subcategoria dos bens e serviços adquiridos.

Com a substituição do polímero convencionalmente utilizado na produção da peça em estudo, pelo biopolímero, as emissões associadas à produção da matéria-prima diminuem em aproximadamente 52%, representando a emissão de 5,78 tCO₂eq. Esta alteração representa uma diminuição de 0,3% no valor da pegada de carbono associada à subcategoria bens e serviços. Este valor é residual, uma vez que o PC não foi um polímero adquirido pela empresa em largas quantidades no ano de 2023.

Num panorama geral, com a utilização de unicamente matérias-primas polimérica de origem natural, as emissões associadas à produção deste materiais irá diminuir em aproximadamente 60 %, representando a emissão de 762,8 tCO₂eq. Com esta alteração a pegada de carbono, associada à subcategoria bens e serviços, diminui em cerca de 50%, o que representa um avanço na sustentabilidade da empresa. Consequentemente o valor da PCO irá diminuir em cerca de 60%.

Estas diminuições devem-se ao facto de os FE dos polímeros de origem natural ser menor do que o FE dos polímeros de origem petrolífera. É importante ressaltar que na eventualidade de possível ponderação sobre adoção de unicamente polímeros de origem natural para a produção na empresa, deve ser realizado um estudo individual de todas os polímeros utilizados e do biopolímero mais adequado para substituir cada uma das matérias-primas utilizadas.

Na Tabela 28, encontra-se descritas a quantidade de granulado adquirido em 2023, e as respetivas emissões associadas à produção destes.

Tabela 28. Quantidade de granulado adquirido e as emissões correspondentes da produção do granulado

Indicador	Consumo (kg)	tCO₂eq
Granulados - PC	3850	11,94
Granulado - PC RE	3850	5,78
Injeção-Granulados	508505	1873

6. CONCLUSÃO

O trabalho descrito nesta dissertação incidiu no cálculo da pegada de carbono da organização e no estudo da viabilidade da substituição da utilização de um polímero de origem petrolífera, por um de origem natural na produção de uma peça.

Com a realização do presente estudo, foi possível comprovar a importância da PCO para a quantificação e compreensão do impacto ambiental da empresa. Com a determinação da mesma, a Fehst passa a ter conhecimento das atividades mais prejudiciais associadas ao seu processo produtivo, facilitando a implementação de ações sobre as mesmas, permitindo, consequentemente, que haja uma melhoria do desempenho ambiental.

Em 2023, a Fehst alcançou um progresso na trajetória da gestão ambiental, comparativamente ao ano civil anterior. A empresa registou uma redução aproximada de 0,8% no seu impacto ambiental total em comparação com 2022. No entanto neste período também ocorreu um aumento significativo nas emissões associadas às subcategorias do consumo da eletricidade, bens e serviços adquiridos, bem como o transporte *downstream*. Este aumento foi impulsionado pelo crescimento no volume produtivo da empresa, exigindo um maior consumo de energia elétrica e matéria-prima, além de um aumento na frequência do transporte para os clientes. No entanto, este aumento nas emissões foi compensado por uma diminuição noutras subcategorias críticas, como o transporte upstream e a gestão de resíduos. A diminuição nestas áreas específicas reflete os esforços contínuos da Fehst em otimizar as suas operações, reduzindo a pegada de carbono.

No ano de 2023, as atividades desenvolvidas na cadeia de valor da Fehst, classificadas no âmbito 3, foram identificadas como as subcategorias com maior repercussão no impacto ambiental da empresa, representando 70% das 3671 toneladas de CO₂eq emitidas pela empresa.

Durante o levantamento e recolha de dados internos, associados a este âmbito, foram encontradas alguns entraves significativos. A principal dificuldade deveu-se à falta de informação precisa e transparente por parte dos diversos fornecedores da rede de abastecimento da Fehst. Esta limitação não só dificultou o cálculo preciso da pegada de carbono, mas também destacou a necessidade de um maior empenho e colaboração por parte dos fornecedores na gestão das emissões de GEE.

Ressalta-se que, simultaneamente à implementação de qualquer medida para a redução da PCO, deve-se analisar a sua viabilidade económica para a empresa, consoante a eficiência prevista para cada ação proposta.

Futuramente, é fundamental transpor aos fornecedores todos estes requisitos inerentes ao cálculo da PCO e à meta de se atingir a neutralidade carbónica até 2050. O objetivo será começarem a monitorizar estes parâmetros para que se consiga rastrear mais agilmente e com maior precisão todas as emissões de GEE associadas à cadeia de abastecimento do setor automóvel, e para que iniciem, de forma idêntica, a construção do seu próprio plano de ações para a descarbonização.

Relativamente à possível utilização dos biopolímeros, a caracterização da matéria-prima revelou que as propriedades térmicas e reológicas do PC RE são análogas à do PC. Esta análise detalhada mostrou que, do ponto de vista térmico, o PC RE pode suportar as mesmas temperaturas que o PC mantendo a estabilidade e desempenho necessário. Em termos reológicos o comportamento do fluxo do PC RE é compatível ao do PC, assegurando que o processo de moldação pode ser realizado sem necessidade de ajustes significativos.

A caracterização química permitiu concluir que as estruturas químicas principais deste material são similares à do PC. Esta semelhança química garante que o material possa ser integrado nos processos existentes efetuados com o PC sem comprometer a integridade estrutural e durabilidade do produto final.

Em termos de propriedades mecânicas o PC RE assemelha-se muito ao material convencional utilizado de base petrolífera, permitindo que este material substitua o PC sem comprometer a desempenho mecânica da peça. Essa equivalência é crucial para assegurar que os componentes automóveis fabricados em PC RE atendem aos padrões de segurança exigidos.

As características visuais e de acabamento do PC RE são equivalentes às do PC, garantindo que os componentes automóveis mantêm a aparência de alta qualidade, sendo desta forma no aspeto estético a substituição aprovada.

A substituição do PC convencional pelo PC RE na indústria automóvel, especificamente no caso de estudo, é uma estratégia viável e vantajosa. Ao adotar o PC RE, a indústria automóvel pode avançar em direção a práticas mais ecológicas sem comprometer a funcionalidade ou a parte estética, contribuindo para um futuro mais sustentável e inovador.

Numa perspetiva de correlação das duas temáticas a incorporação de materiais biopolimérico no processo de fabrico de peças automóveis resulta numa melhoria significativa no valor da PCP e da PCO. Esta melhoria é notável tanto de forma geral no impacto ambiental da empresa, bem como na subcategoria do âmbito 3 bens e serviços adquiridos. A substituição do PC pelo PC RE vai permitir diminuir as emissões associadas à produção da matéria-prima em aproximadamente 52%, bem como as emissões da empresa (PCO) em sensivelmente 0,3%.

A adoção de biopolímeros apresenta vantagens significativas em termos de sustentabilidade e economia. A utilização desses materiais contribui para a redução da pegada de carbono do produto e da organização. Ao diminuir as emissões de CO₂eq e o consumo de recursos não renováveis, a empresa melhora o seu desempenho ambiental e fortalece o compromisso com a sustentabilidade.

Do ponto de vista económico e de posicionamento no mercado, a substituição de materiais convencionais por biopolímeros eleva a empresa num novo patamar. A adoção de práticas mais ecológicas e o uso de materiais mais sustentáveis não atendem apenas às expectativas dos consumidores, mas também aumenta a notoriedade da empresa no mercado. Essa abordagem diferenciada pode fortalecer a fidelidade dos clientes existentes, atrair novos clientes abrindo portas a novas parcerias comerciais.

A adoção deste novo material, PC RE, necessita de uma certificação ISCC (*Internacional Sustainability e Carbon Certification*) em toda a cadeia de valor. Sendo uma certificação de qualidade e rastreabilidade, tem um custos de certificação associados, o que pode representar um entrave à substituição.

Em suma, espera-se com este trabalho sensibilizar as empresas do longo caminho ainda a percorrer para se promover um crescimento económico ambientalmente e socialmente responsável, e de como é essencial monitorizar o progresso neste sentido para identificar potenciais oportunidades e riscos para a construção de uma postura competitiva no mercado.

7. TRABALHOS FUTUROS

De modo a validar e complementar o trabalho desenvolvido nesta dissertação, são sugeridas algumas recomendações para trabalhos de investigação futuros.

No domínio da pegada de carbono é sugerido uma monitorização constante das emissões da organização e a elaboração anual de um relatório com as emissões de GEE e a respetiva PCO. Desenvolvimento de um método mais simples e intuitiva de recolha de dados necessários para o cálculo da PCO.

No âmbito da utilização dos biopolímeros, como trabalho futuro é sugerido realizar o mesmo estudo para outras peças da empresa que não sejam unicamente injetadas e que estejam sujeitas a processos de acabamento, como pintura. Peças com requisitos mecânicos diferentes e onde a parte estética não seja crucial. Um estudo mais detalhado do comportamento do material quando submetidos a ciclos de reprocessamento.

Uma avaliação económica para avaliar a viabilidade financeira da mudança da utilização de polímeros de origem petrolífera para origem natural, tendo como caso de estudo algumas peças. Esta avaliação deve considerar custos da matéria-prima, produção, transporte e logística.

REFERÊNCIAS

Abe, M.M., Martins, J.R., Sanvezzo, P.B., Macedo, J.V., Branciforti, M.C., Halley, P., Botaro, V.R., Brienzo, M. (2021). Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components. *Advances in Biodegradation of Plastics*, 13. <https://doi.org/10.3390/polym13152484>

Abidi, N., Cabrales, L., Haigler, C.H. (2014). Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated. Em *Carbohydrate Polymers*, vol. 100, pp. 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.074>

Aguiar, G.P.S., Magro, C.D., Oliveira, J.V., Lanza, M. (2018). POLY(HYDROXYBUTYRATE-CO-HYDROXYVALERATE) MICRONIZATION BY SOLUTION ENHANCED DISPERSION BY SUPERCRITICAL FLUIDS TECHNIQUE. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 35, 4 (December), 1275-1282. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20180354s20170501>

Al-Majed, Abdul-Rahman A., Assiri, Ebrahim., Y.Khali, Nasr., Andel-Aziz, Hatem A. (2015). Chapter Three - Losartan: Comprehensive Profile. Em *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology* pp. 159-194. Volume 40

Alves, Ana Rita Oliveira. (2021). Determinação da pegada de carbono de rolhas de cortiça segundo o Protocolo de Gases com Efeito de Estufa. [Tese de Mestrado, Escola de Engenharia-Universidade do Minho]. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/80922>

APCER. (s.d.). Pegada de Carbono- Verificação e Validação da Pegada de Carbono. Consultado a 25 de setembro de 2023 em <https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/174/pegadade-carbono>

APCER. (2023). Transição sustentável para uma economia verde. Consultado a 19 de setembro de 2023 em <https://apcergroup.com/pt/noticias-e-destaques/3701/transicao-sustentavel-para-umaeconomia-verde>

Associação Automóvel de Portugal (ACAP). (2023). *Mercado automóvel em Portugal regista crescimento de 11,3 por cento no último mês de 2023*. Consultado a 22 de março de 2024 em <https://www.acap.pt/pt/noticia/964/mercado-automovel-em-portugal-regista-crescimento-de-113-porcento-no-ultimo-mes-de-2023/7>

Autovista24. (2022). *What is the automotive supply chain?*. Consultado a 28 de fevereiro de 2024 em <https://autovista24.autovistagroup.com/news/what-is-the-automotive-supply-chain/>

Bao, Chau. K. Ly., Ethan B. Dyer., Jessica L. Feig., Anna L. Chien., Sandra Del Bino. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology.*, (vol. 140, no.1, pp.3-12.e1, <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>).

Baranwal, Jaya., Barse, Brajesh., Fais, Antonella., Delogu, Giovanna., Kumar, Amit. (2022). Biopolymer: A sustainable material for food and medical applications. *Biopolymers for Medicinal, Macromolecules, and Food Applications II*, 14. doi: [10.3390/polym14050983](https://doi.org/10.3390/polym14050983)

Barbosa, Sílvia. (2021). Determine a Pegada de Carbono da sua organização, APCER. Consultado a 22 de setembro de 2023 em <https://apcergroup.com/pt/noticias-e-destaques/2573/determine-a-pegada-de-carbono-da-sua-%20organizacao>

Barrillari, Fabrizio., & Chini Fabrizio. (2020). Biopolymers- Sustainability for the Automotive Value-added Chain. *Em ATZ worldwide*, pp.36-39. Volume 122.

Bhagwat, Geetika., Gray, Kelsey., Wilson, Scott P., Muniyasamy, Sudhakar., Vicent, Salom Gnana Thanga., Buhs, Richard., & Palanisami, Thava. (2020). Benchmarking Bioplastics: A Natural Step Towards a Sustainable Future. *Journal of Polymers and the Environment* (pp. 3055-3075). Volume 28.

Bragança, Luis., Tavares, Sergio Fernandes. (2016). Índice de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras. Em *SBE16 Brazil & Portugal - Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*, pp. 927-936, volume 1, ISBN: 978-85-92631-00-0.

Calabrese, Giuseppe. (2012). Innovative Design and Sustainable Development in the Automotive Industry. Em *The Greening of the Automotive Industry*, pp. 13-31.

Calado, Lénia Marreiros. (2015). *Desenvolvimento de compostos poliméricos: estudo da sua reologia e extrusão*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa]. <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/20739>.

CEPSA. (2023). Fatores de Emissão. Consultado a 22 de setembro de 2023 em <https://pt.cepsa.com/stfls/cepsa-pt/Ficheros/isp-dever-informacao-tabela-cepsa-a-01052023.pdf>

Chemical&Engineering News(C&EN). (2019). Industrial ammonia production emits more CO2 than any other chemical- making reaction. Chemists want to change that. Consultado a 14 de maio de 2024 em <https://cen.acs.org/environment/green-chemistry/Industrial-ammonia-production-emits-CO2/97/i24>.

Chen, Y., Kwilinski, A., Chygryn, O., Lyulyov, O., Pimonenko, T. (2021). The Green Competitiveness of Enterprises: Justifying the Quality Criteria of Digital Marketing Communication Channels. *Sustainability*, 13, 13679. <https://doi.org/10.3390/su132413679>

Claudia Hagn. (2015). Plastics recycling in the automotive industry. Consultado a 18 de março de 2024 em <https://www.plasticstoday.com/plastics-recycling-automotive-industry>

Comissão Europeia. (s.d.). *Pacto Ecológico Europeu: Ser o primeiro continente com impacto neutro no clima*. Consultado a 4 de março de 2024 em https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pt

Conselho Europe. (2024). *Acordo de Paris sobre alterações climáticas*. Consultado a 4 de março de 2024 em <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/paris-agreement/>

Correia, Roberto. (2023). Pegada de carbono das empresas: porquê e como medir? Consultado a 18 de setembro de 2023 em <https://www.inegi.pt/pt/noticias/pegada-de-carbono-das-empresas-porque-ecomo-medir/>

Covestro. (2023). Carbon footprint data for COV specific grades.

Covestro. (2021). Covestro starts offering the world's first climate- neutral* polycarbonate. Consultada a 18 de julho de 2024 em <https://www.covestro.com/press/covestro-starts-offering-the-worlds-first-climate-neutral-polycarbonate/>

Covestro. (S.d.). Makrolon®RE enables significant reduction of CO₂ footprint. Consultada a 17 de julho de 2024 em <https://solutions.covestro.com/en/highlights/articles/stories/2022/renewable-and-more-sustainable-polycarbonates>

Department for Environment Food& Rural Affairs (DEFRA). (2023). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2023. Consultado a 12 de março de 2024 em <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>

Endres, Hans-Josef., & Rath, Andrea Siebert. (2011). What are biopolymers. Em *Engineering Biopolymers* (pp.4-17)

Ecocockpit. (s.d.). Ecocockpit. Consultado a 29 de abril de 2024 em <https://ecocockpit.de/>

E-Redes. (s.d.). Produção de energia para Autoconsumo. Consultado a 10 de abril de 2024 em <https://www.e-redes.pt/pt-pt/transicao-energetica/redes-do-futuro/autoconsumo>

Europeanbioplastics. (s.d.). *Bioplastics market development update 2023*. Consultado a 10 de janeiro de 2024 em <https://www.european-bioplastics.org/market/>

Fehst Componentes Lda. (s.d.). A Empresa. Consultado a 20 de setembro de 2023 em <https://www.fehstgroup.com/pt/>

Flynn, M.S., Smith, B.C. (1993). Automotive Plastics Chain: Some Issues and Challenges. *University of Michigan Transportation Research Institute*. pp. 1-47

- Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). 2024. Boletim Anual 2024.
- George, Ashish., Sanjay, M.R., Srisuk, Rapeeporn., Parameswaranpillai, Jyotishkumar., Siengchin, Suchart. (2020). A comprehensive review on chemical properties and applications of biopolymers and their composites. Em *International Journal of Biological Macromolecules*, pp. 329-338, Volume 154.
- Get2C- For a Cooler World. (2024). Cálculo da Pegada de Carbono.
- Gold Energy. (s.d.). Fator de Emissão. Consultado a 5 de março em <https://goldenergy.pt/glossario/fator-emissao/>
- Gowthaman, N.S.K., Lim, H.N., Sreeraj,T.R., Amalraj, A., Gopi, S. (2021). Advantages of biopolymers over synthetic polymers: social, economic and environmental aspects. Em *Biooilymers and their Industrial Applications from plant, animal, and marine sources to Functional Products*, (pp. 351-372). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819240-5.00015-8>
- Greenhouse Gas Protocol (GHG). (s.d.). Scope 3 Calculation Guidance: Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions.
- Hagn Claudia. (2015). *Plastics recycling in the automotive industry*. Consulta a 14 de março de 2024 em <https://www.plasticstoday.com/automotive-mobility/plastics-recycling-in-the-automotive-industry>
- Hedar, M., Intisar, A., Hussain, T., Hussain, N., Bilal, M. (2023). Challenges and Issues in Biopolymer Applications. Em: *Handbook of Biopolymers*, (pp.1497-1511). https://doi.org/10.1007/978-981-19-0710-4_55.
- Iberdrola. (s.d.). *O que é a pegada de carbono e por que é vital reduzi-la para frear as mudanças climáticas*. Consultado a 21 de fevereiro de 2024 em <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/pegada-carbono>
- ICAO. (s.d.). ICAO Carbon Emissions Calculator (ICEC). Consultado a 2 de abril de 2024 em <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 527-2:2012 (en): Plastics- Determination of the tensile properties- Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*.
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 1133:2005: Plastics- Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and the melt volume-flow (MVR) of the thermoplastics*.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 14064-1:2018* - 2018. *Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*.

Ivascu, Larisa., Izvercian, Monica. (2015). Waste Management in the Contexto of Sustainable Development: Case Study in Romania. Em *Procedia Economics and Finance*, pp. 717-721, Volume 6.

Janik, A., Ryszko, A. (2017). Measuring product material circularity - A case of automotive industry. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, vol.17, no.43, pp.123-130. doi: 10.5593/sgem2017H/43/S18.016.

Konica Minolta. (s.d.). *CM-25cG Medidor de Cor e Brilho Portátil*. Consultado a 3 de outubro de 2024 em <https://sensing.konicaminolta.us/br/products/cm-25cg-medidor-de-cor-e-brilho-portatil/>

Langenfeld, J., Affonso, E. (2022). *Plastics in Automotive Applications*. Consultado a 20 de março de 2024 em <https://www.plasticsfacts.com/blog/2022/5/1/plastics-in-automotive-applications>

Linde. (s.d.). *Cryoclean snow for manual and automated workflows*. Consultado a 12 de abril de 2024 em <https://www.linde-gas.com/industries/plastics/pre-and-post-finishing/cryogenic-snow>

MAGNA. (2022). The Top 3 Challenges For a Stable Automotive Supplier Network. Consultado a 28 de fevereiro de 2024 em <https://www.magna.com/stories/inside-automotive/concept-creation/automotive-supplier-network>

Mobinov. (2023). Roteiro da Descarbonização do Setor Automóvel.

OECD. (2022). Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short. Consultado a 19 de março de 2024 em <https://www.oecd.org/environment/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>

Parshin, A.,M., Gunyakov, V.,A., Zyryanov, V., Y., Shabanov, V., F. (2013). Domain Structures in Nematic Liquid Crystals on a polycarbonate Surface. *International Journal of Molecular Sciences*, 16303-16320. doi:10.3390/ijms140816303

Phiri, Resego., Rangappa, Sanjay Mavinkere., Siengchin, Suchart., Oladijo, Oluseyi Philip., Dhakal, Hom Nath. (2023). Development of sustainable biopolymer-based composites for lightweight applications from agricultural waste biomass: A review. Em *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, pp.436-450, Volume 6.

Rajeswari, A., Pius, Anitha., Christy, Jackcina Stobel Christy. (2021). Biopolymer blends and composites: processing technologies and their properties for industrial applications. Em *Biopolymers and their Industrial Applications* (pp.105-147).

Repsol. (s.d.). PPA(Power Purchase Agreement): tudo o que precisa de saber. Consultado a 18 de julho de 2024 em <https://www.repsol.pt/particulares/assessoramento/ppa-tudo-o-que-precisa-de-saber/>

Sherman, R., Hirt, D., Vane, R., (1994). Surface cleaning with the carbon dioxide snow jet. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 12(4): 1876–1881. <https://doi.org/10.1116/1.579021>

Silva, Mariana Guerreiro da. (2023). Desenvolvimento de uma embalagem natural para contacto alimentar pelo processos de termoformação. [Tese de Mestrado, Escola de Engenharia – Universidade do Minho]. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/87977>

Streitberger, H. & Goldschmidt, A. (2018). BASF Handbook Basics of Coating Technology: 3rd Revised Edition. Hannover, Germany: Vincentz Network. <https://doi.org/10.1515/9783748600251>

Sweileh, Bassam., Al-Hilari, Yusuf., Kailani, Mohammed., Mohammad, Hani Ali Yasin. (2010). Synthesis and Characterization of Polycarbonates by Melt Phase Interchange Reactions of Alkylene and Arylene Diacetates with Alkylene and Arylene Diphenyl Dicarbonates. *Molecules*, 15, 3661-3682. Doing:10.3390/molecules15053661

TA Instruments. (2022). Thermal Analysis Application Brief - Proximate Analysis of Coal and Coke Em *Therm Anal, TA-129*, pp. 1-2. <https://www.tainstruments.com/pdf/literature/TA129.pdf>

Umwelt Bundesamt. *Interested in information about the environmental footprint of specific everyday products?*. Consultado a 3 de maio de 2024 em <https://www.probas.umweltbundesamt.de/einblick/#/>

UNICEF. (2023). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Consultado a 29 de maio de 2023 em <https://www.unicef.pt/o-que-fazemos/o-nosso-trabalho-em-portugal/educacao-pelo-direitos-da-crianca/a-maior-licao-do-mundo/?altTemplate=StartView>

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2024). *Overview of Greenhouse Gases*. Consultado a 29 de fevereiro de 2024 em <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

Vanderreydt, Ive., Rommens, Tom., Tenhunen, Anna., Tange, Ida. (2021). Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics). European Environment Agency.

Veiga, Bruno Miguel Salgueiro. (2017). Pegada de carbono empresarial: uma aplicação do método MC3 à Domingos da Silva Teixeira SA. [Tese de Mestrado, Escola de Economia e Gestão-Universidade do Minho]. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/49728>

Virail. (s.d.). Autocarros Lisboa-Braga: horários, preços e bilhetes a partir de € 4,37. Consultado a 10 de abril de 2024 em <https://www.virail.pt/onibus-lisboa-braga>

Vladimir A. Escobar Barrios, José R. Rangek Méndez, Nancy V. Perez Aguilar, Guillermo Andrade Espinosa, and José L. Dávila Rodríguez. (2012). Infrared Spectroscopy: Materials science, Engineering and Tecnology. Em Infrared Spectroscopy: Materials Science, Engineering and Technology, pp. 195-213. doi: 10.5772/2055.

WBCSD & WRI., (2012). A Corporate Accounting and Reporting Standard, *Greenhouse Gas Protocol*, pp. 2–74.

Williams, I.D., Blyth, M. (2023). Autogeddon or autoheaven: Environmental and social effects of the automotive industry from launch to present. Em Science of The Total Environment, vol. 858, part. 3. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159987>.

World Economic Forum. (2021). How the petrochemicals industry can reduce its carbon footprint. Consultado a 15 de maio de 2024 em <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/how-petrochemicals-industry-can-reduce-its-carbon-footprint/#:~:text=As%20part%20of%20this%20drive,enables%20further%20carbon%20footprint%20reductions>.

WRI, WBCSD. (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. Greenhouse Gas Protocol, pp.1-148. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf

APÊNDICE

APÊNDICE I- FATOR DE EMISSÃO UTILIZADO EM CADA CATEGORIA DA PCO

Tabela 29. Fator de emissão considerado em cada uma das subcategorias

			FE	Unidades	Fonte
Âmbito 1	Gás Natural		0,19	kgCO ₂ /kW	Fatura mensal
	Combustível frota automóvel	Diesel	2,5	kgCO ₂ /l	(CEPSA, 2023)
		Gasolina	2	kgCO ₂ /l	(CEPSA, 2023)
Âmbito 2	Energia elétrica produzida		0,53	kgCO ₂ /kW	Fatura mensal
Âmbito 3	Deslocação Trabalhadores	Gasóleo	0,13	kgCO ₂ /km	(DEFRA, 2023)
		Gasolina	0,14	kgCO ₂ /km	(DEFRA, 2023)
	Viagem de Negócios	Avião	Depende do local de origem e destino da viagem	kgCO ₂ /passageiro	(ICAO, s.d.)
		Deslocações Fehst-aeroporto e vice-versa	0,13	kgCO ₂ /km	(DEFRA, 2023)
		Carro alugado	0,2	kgCO ₂ /km	Valor descrito na fatura, FE=200g/km
			0,180	kgCO ₂ /km	Valor descrito na fatura, FE=180g/km

			0,128	kgCO ₂ /km	Valor descrito na fatura, FE=128g/km
		Serviços de transporte	0,13	kgCO ₂ /km	(DEFRA, 2023)
		Carro próprio	0,13	kgCO ₂ /km	(DEFRA, 2023)
		Comboio	0,04	kgCO ₂ /km	(DEFRA, 2023)
		Autocarro	24,03	kgCO ₂ /passageiro	(Virail, s.d.)
	Bens Capitais	Estantes em aço	2,39	kgCO ₂ /kg	(Ecocokpit, s.d)
		Máquina de Montagem	2,39	kgCO ₂ /kg	(Ecocokpit, s.d)
		(80%aço+20%alumínio)	11,31611	kgCO ₂ /kg	(Ecocokpit, s.d)
	Bens e Serviços	PC+ABS	3,3	kgCO ₂ /kg	(Covestro, 2023)
		PA6	9,31	kgCO ₂ /kg	(Ecocokpit, s.d)
		Restantes polímeros	3,102	kgCO ₂ /kg	(DEFRA, 2023)
		Mola Metal	1,71	kgCO ₂ /kg	(Umwelt Bundesamt, s.d.)
		Condutores de Luz	5,64795	kgCO ₂ /kg	(DEFRA, 2023)
		Napa	22,31	kgCO ₂ /kg	(DEFRA, 2023)
		Tintas	3,57	kgCO ₂ /kg	(Bragança et al., 2016)
		Diluentes	3,57	kgCO ₂ /kg	(Bragança et al., 2016)
		Endurecedores	3,57	kgCO ₂ /kg	(Bragança et al., 2016)
		Vernizes	3,57	kgCO ₂ /kg	(Bragança et al., 2016)
		Auxiliares	3,57	kgCO ₂ /kg	(DEFRA, 2023)
		Produtos Químicos	1,8	kgCO ₂ /kg	(C&EM, 2019)

		Produtos Químicos-Sais	1,8	kgCO ₂ /kg	(C&EM, 2019)
		Produtos Laboratoriais	1,5	kgCO ₂ /kg	(World Economic Forum, 2021)
		Embalagens de Cartão	0,80152	kgCO ₂ /kg	(DEFRA, 2023)
		Embalagens de Plástico	2,58673	kgCO ₂ /kg	(DEFRA, 2023)
	Transporte Upstream	Carrinha de Transporte (Diesel)	0,25346	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)
		Veículo Pesado (Diesel)	0,826087	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)
		Veículo Pesado Articulado (Diesel)	0,91733	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)
	Transporte Downstream	Veículo Pesado (Diesel)	0,826087	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)
		Veículo Pesado Articulado (Diesel)	0,91733	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)
	Resíduos	Reciclagem	21,281	kgCO ₂ eq/ton	(DEFRA, 2023)
		Aterro	520,335	kgCO ₂ eq/ton	(DEFRA, 2023)

APÊNDICE II- CURVAS E RESULTADOS OBTIDOS NOS TRÊS ENSAIOS DE DSC

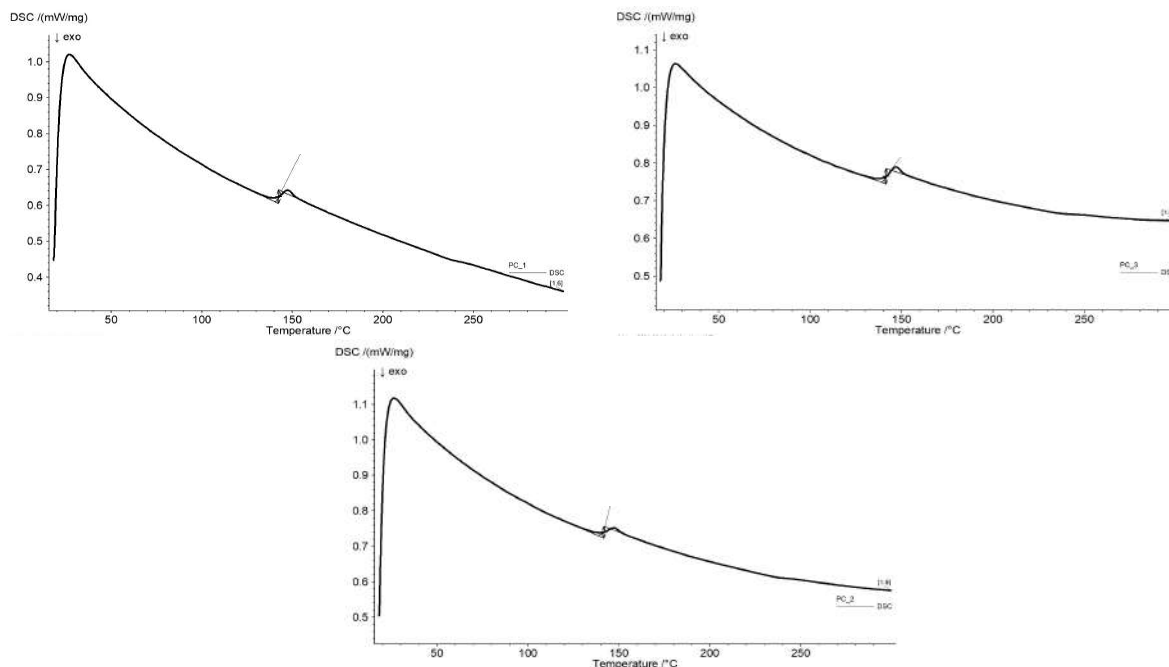


Figura 42. Curvas DSC do PC RE

Tabela 30. Resultados obtidos nos três ensaios de DSC

	Início (°C)	Médio (°C)	Fim (°C)	ΔCP (J/gK)
1	140,6	142,4	145,3	0,232
2	138,5	141,7	145,7	0,205
3	139,4	141,6	144,5	0,244
	139,5	141,9	145,17	0,227

APÊNDICE III- GRÁFICOS TENSÃO VS. DEFORMAÇÃO DOS 10 ENSAIOS POR CICLO DE REPROCESSAMENTO

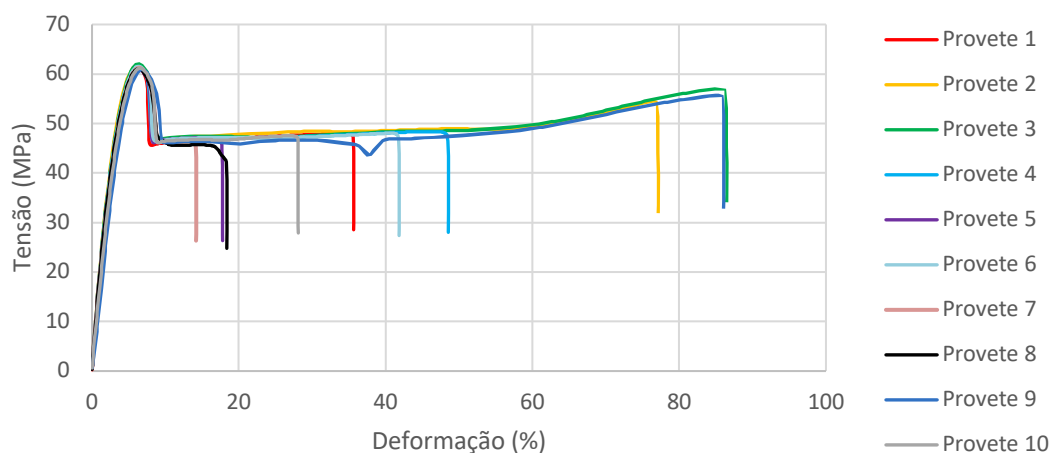


Figura 43. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 1º ciclo

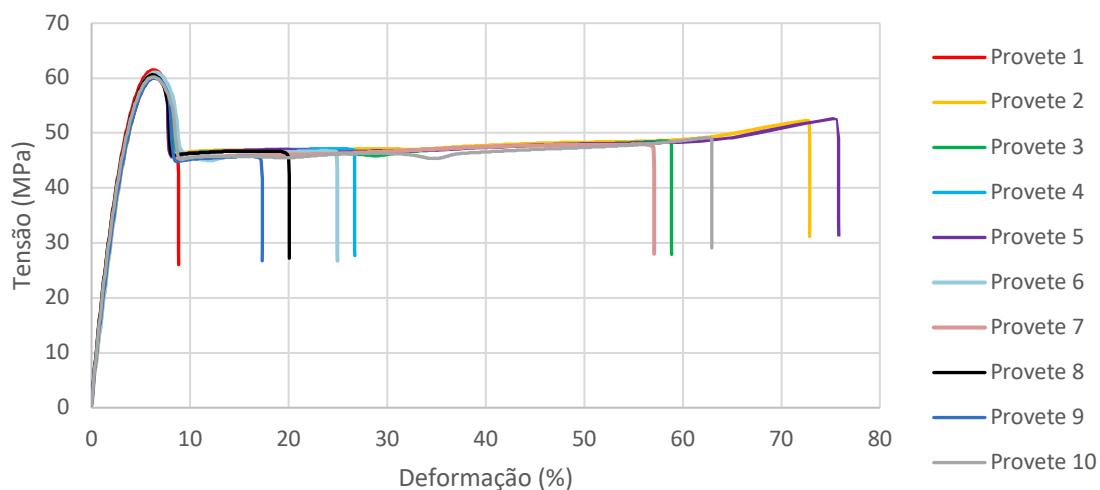


Figura 44. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 2º ciclo

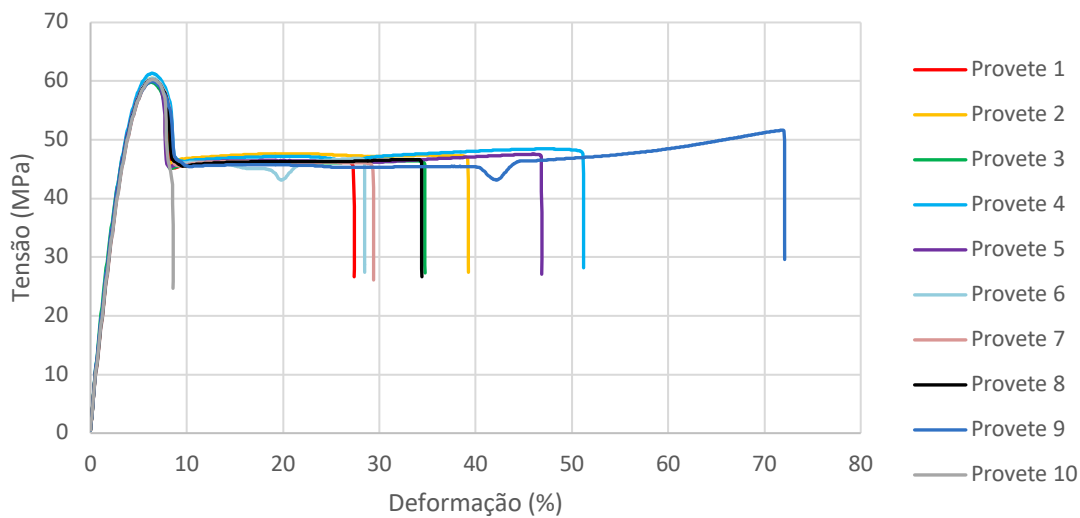


Figura 45. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 3º ciclo

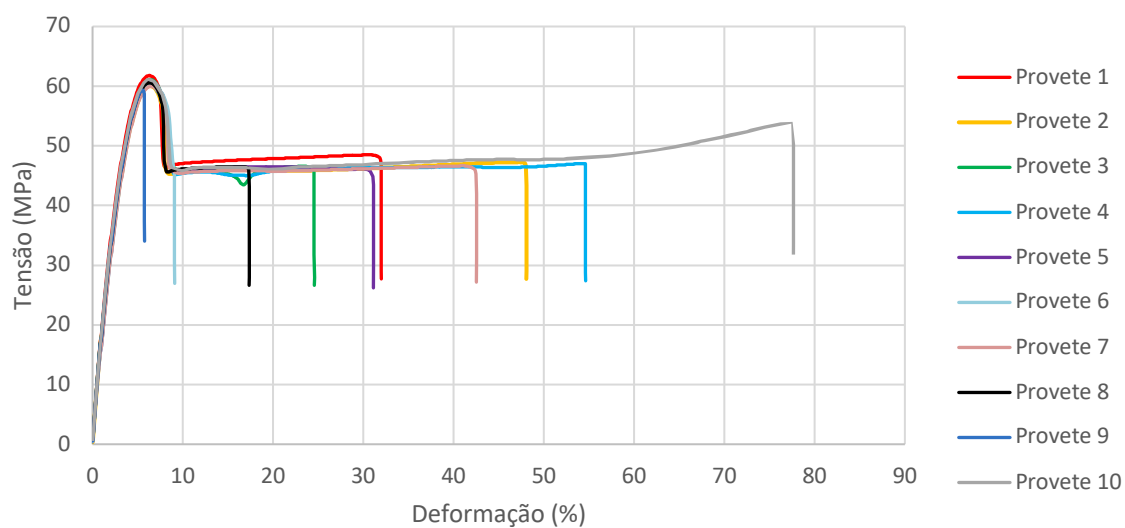


Figura 46. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 4º ciclo

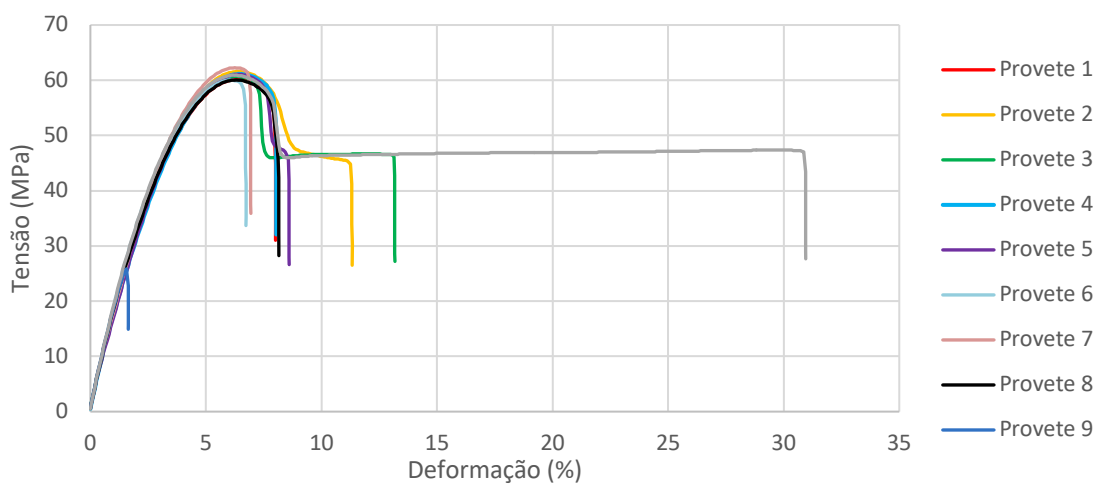


Figura 47. Gráficos Tensão vs. Deformação PC 5º ciclo

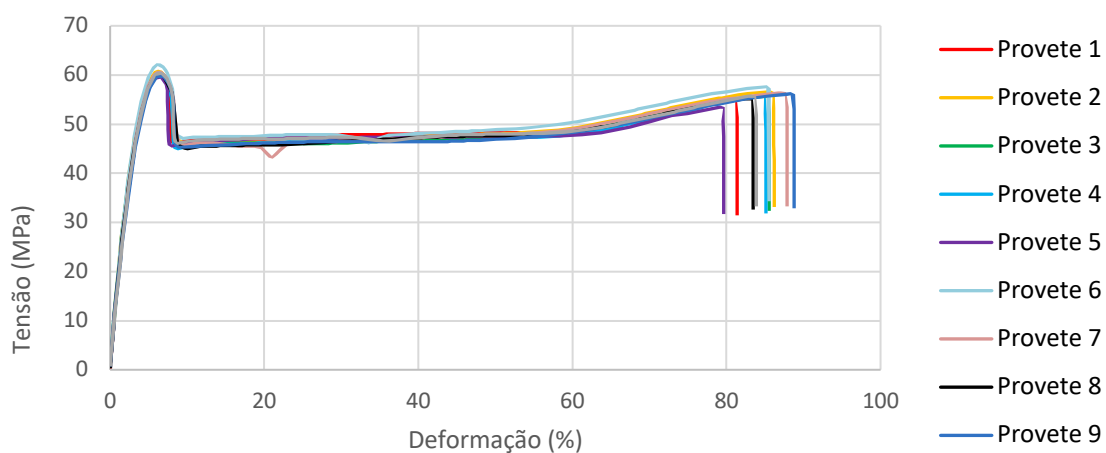


Figura 48. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 1º ciclo

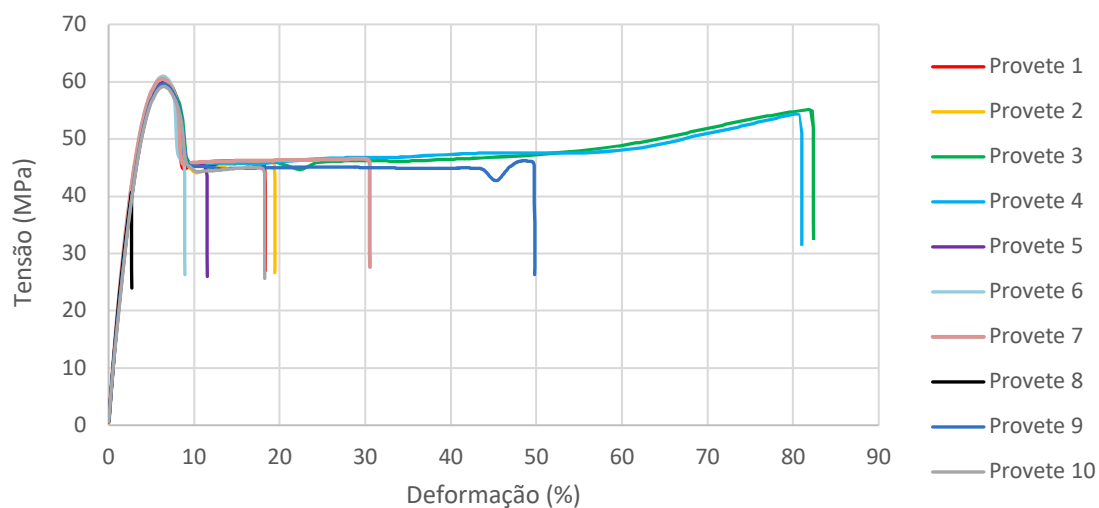


Figura 49. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 2º ciclo

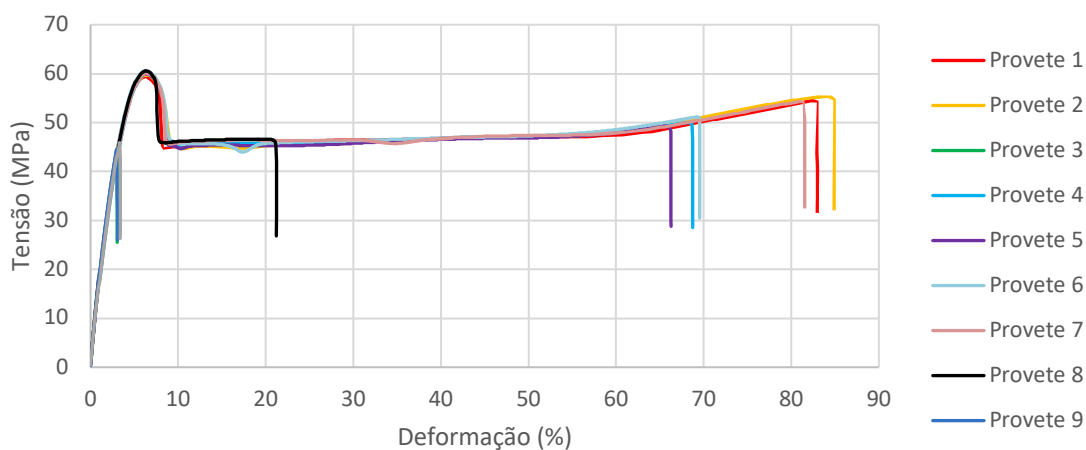


Figura 50. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 3º ciclo

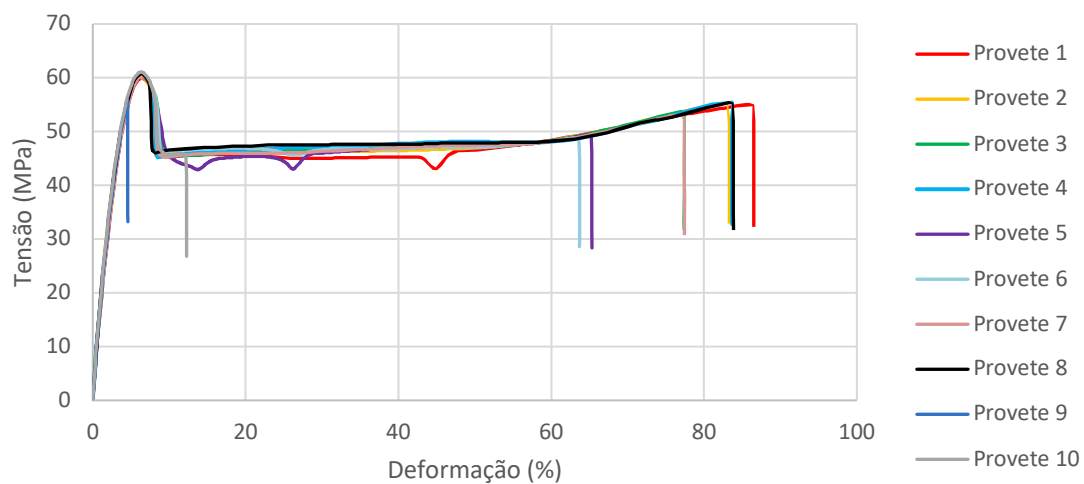


Figura 51. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 4º ciclo

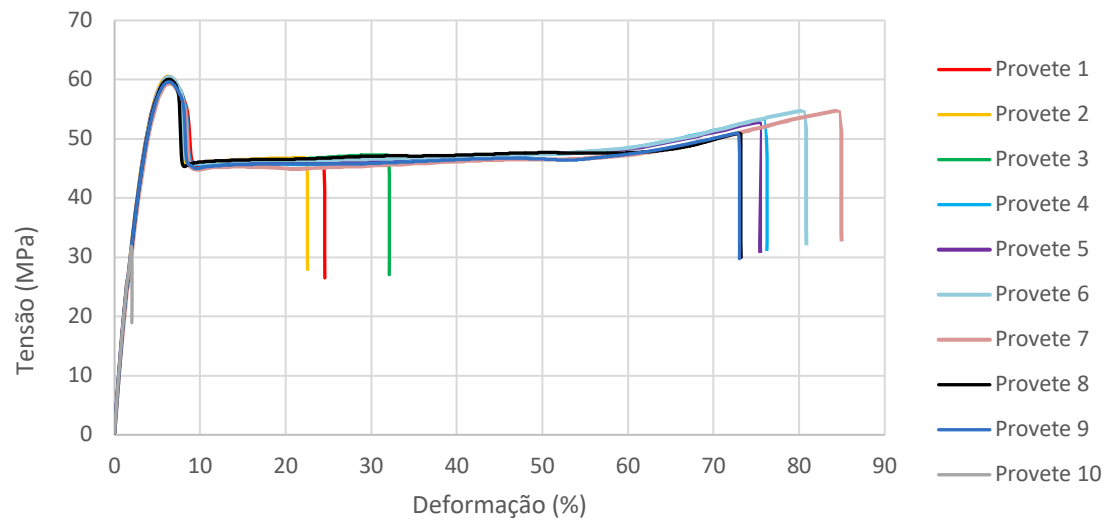


Figura 52. Gráficos Tensão vs. Deformação PC RE 5º ciclo

APÊNDICE IV- REPRESENTAÇÃO DOS PROVETES APÓS ENSAIO DE TRAÇÃO



Figura 53. Provetes PC 1º ciclo após ensaio de tração



Figura 54. Provetes PC 2º ciclo após ensaio de tração



Figura 55. Provetes PC 3º ciclo após ensaio de tração



Figura 56. Provete PC 4º ciclo após ensaio de tração



Figura 57. Provete PC 5º ciclo após ensaio de tração



Figura 58. Provete PC RE 1º ciclo após ensaio de tração



Figura 59. Provete PC RE 2º ciclo após ensaio de tração



Figura 60. Provete PC RE 3º ciclo após ensaio de tração



Figura 61. Provete PC RE 4º ciclo após ensaio de tração



Figura 62. Provete PC RE 5º ciclo após ensaio de tração

APÊNDICE V- REPRESENTAÇÃO DAS DIFERENTES ZONAS DE CADA PROVETE SELECIONADO

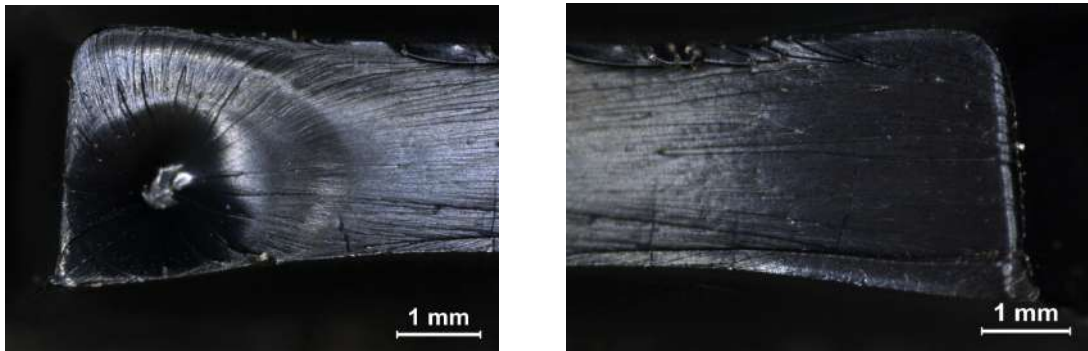


Figura 63. Zona 1 e Zona 2- Provete 1 PC 1ºciclo

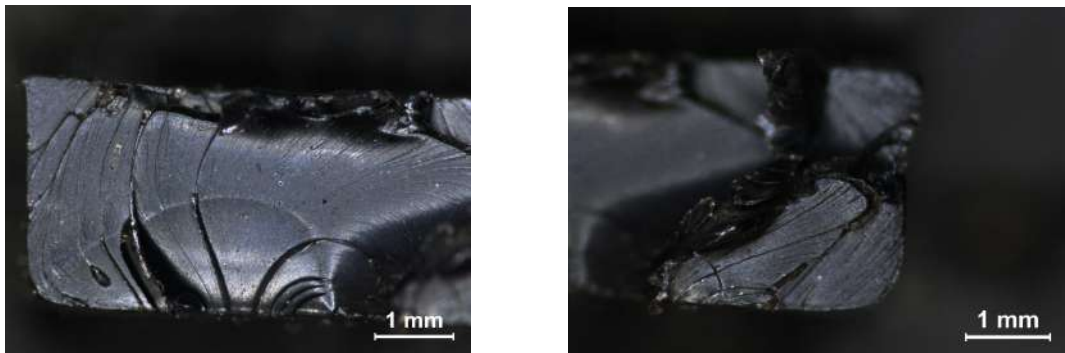


Figura 64. Zona 1 e Zona 2- Provete 9 PC 1ºciclo

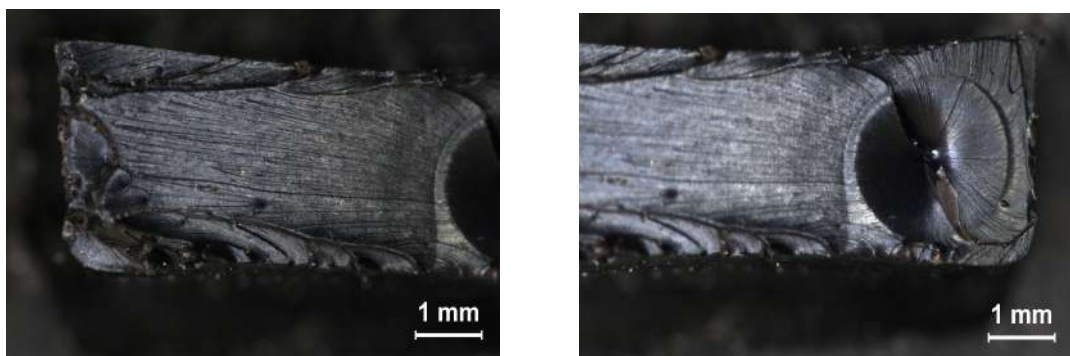


Figura 65. Zona 1 e Zona 2- Provete 5 PC 2ºciclo

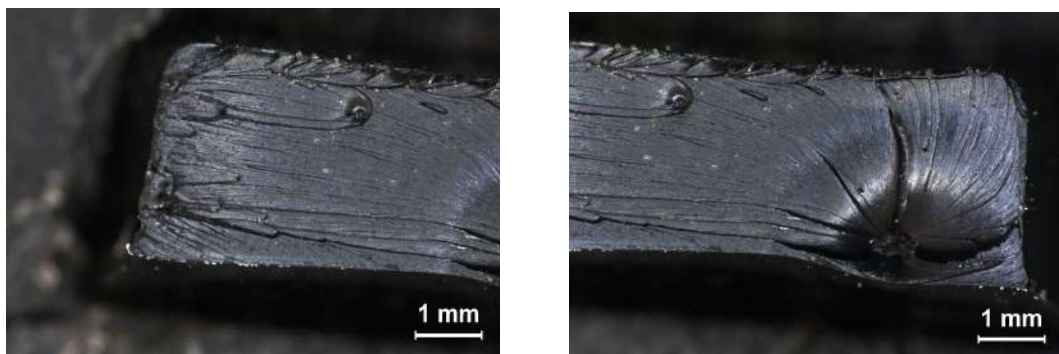


Figura 66. Zona 1 e Zona 2- Provete 8 PC 2ºciclo

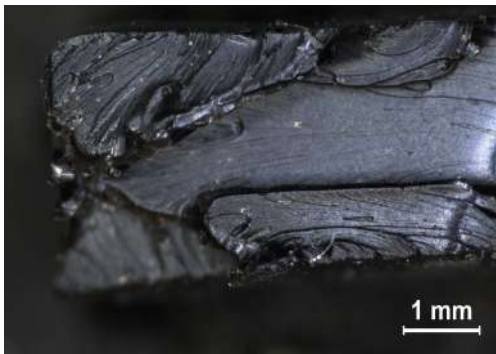
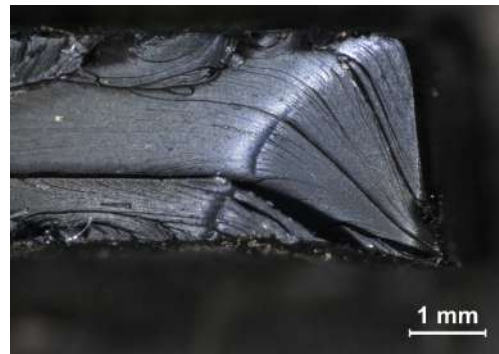


Figura 67. Zona 1 e Zona 2- Provete 5 PC 3°ciclo

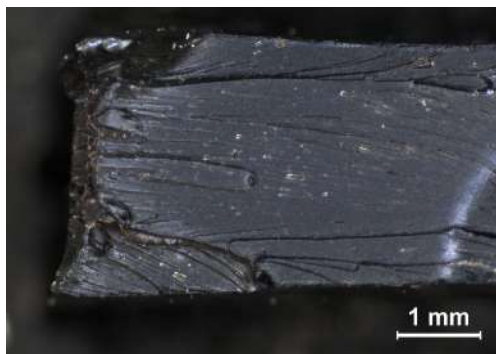
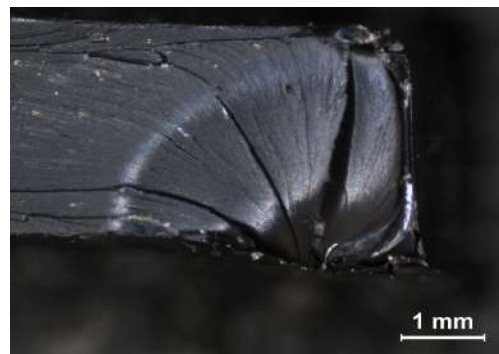


Figura 68. Zona 1 e Zona 2- Provete 6 PC 3°ciclo

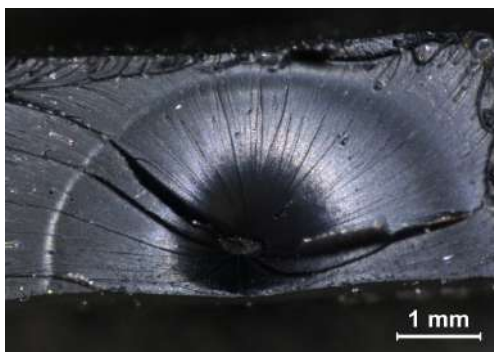


Figura 69. Zona 1 e Zona 2- Provete 3 PC 4°ciclo

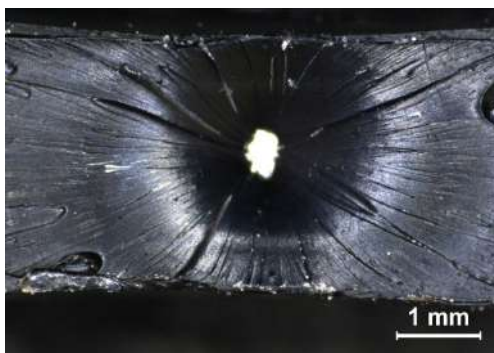
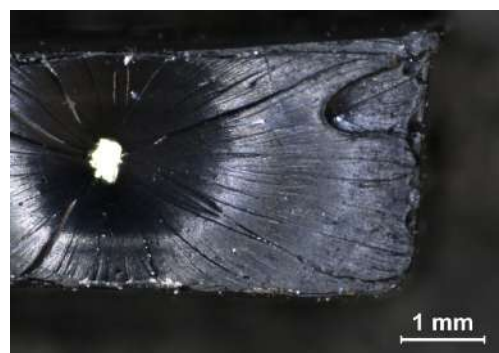


Figura 70. Zona 1 e Zona 2- Provete 5 PC 4°ciclo

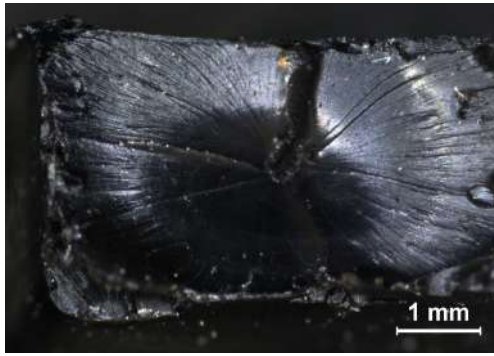
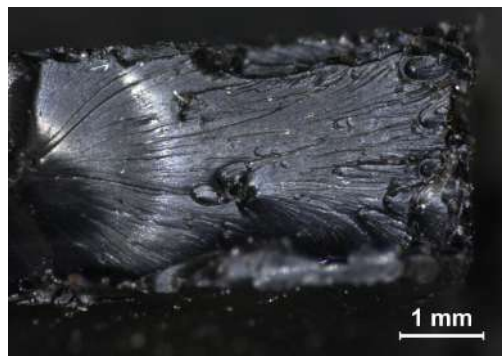


Figura 71. Zona 1 e Zona 2- Provette 2 PC 5°ciclo

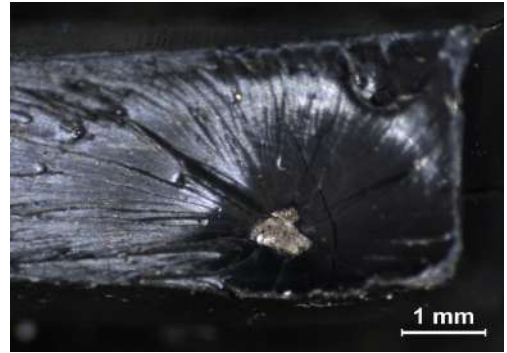


Figura 72. Zona 1 e Zona 2- Provette 4 PC 5°ciclo

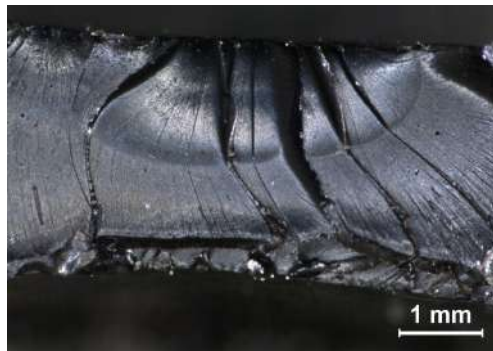


Figura 73. Zona 1- Provette 3 PC RE 1°ciclo

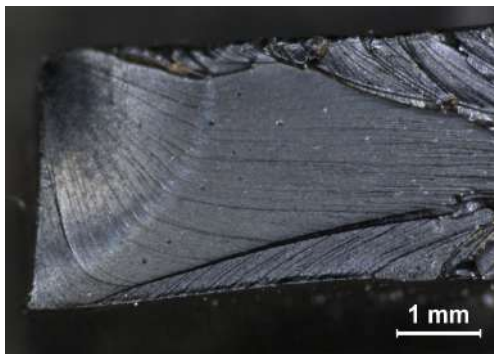
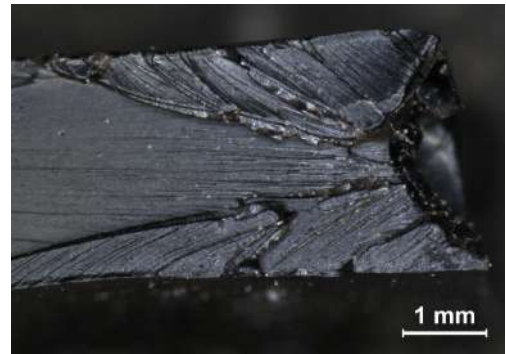


Figura 74. Zona 1e Zona 2- Provette 7 PC RE 1°ciclo

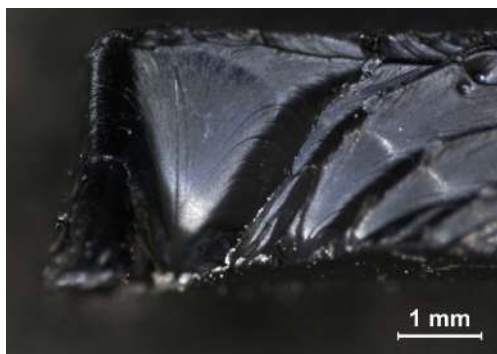


Figura 75. Zona 1e Zona 2- Provete 7 PC RE 2ºciclo

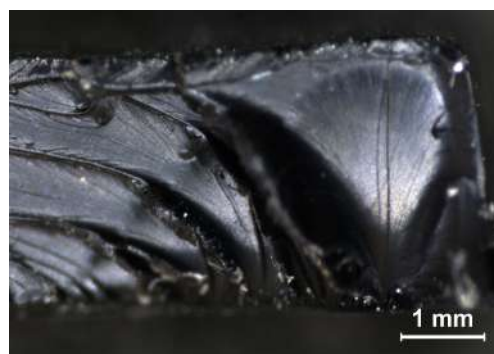


Figura 76. Zona 1e Zona 2- Provete 9 PC RE 2ºciclo

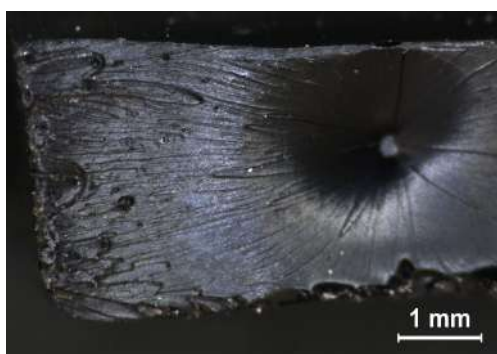
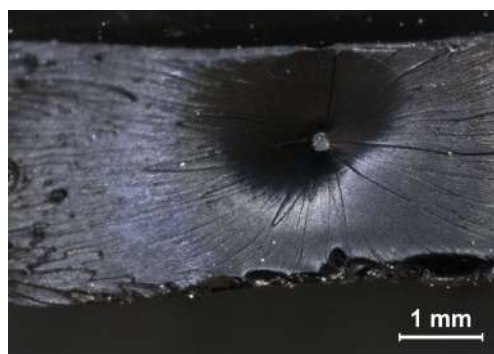


Figura 77. Zona 1e Zona 2- Provete 8 PC RE 3ºciclo



Figura 78. Zona 1e Zona 2- Provete 9 PC RE 3ºciclo

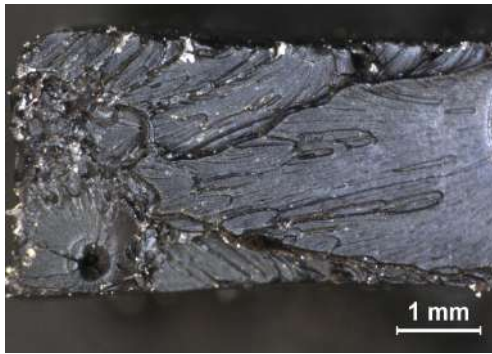
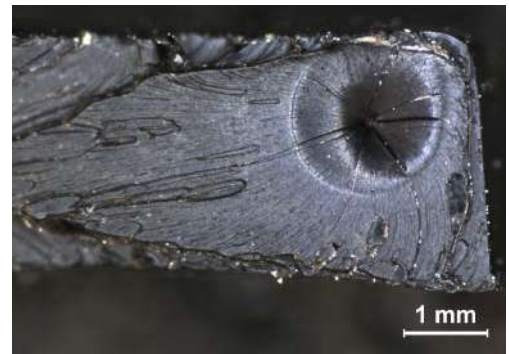


Figura 79. Zona 1e Zona 2- Provete 3 PC RE 4ºciclo

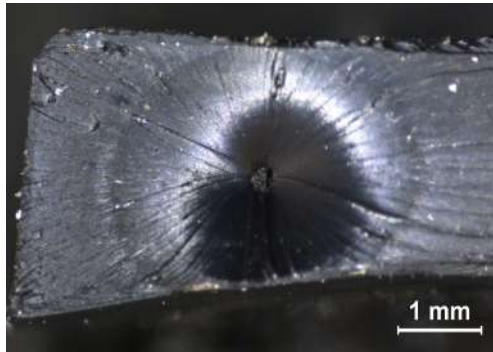
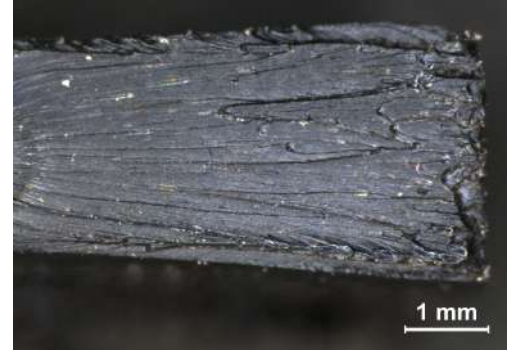


Figura 80. Zona 1e Zona 2- Provete 7 PC RE 4ºciclo

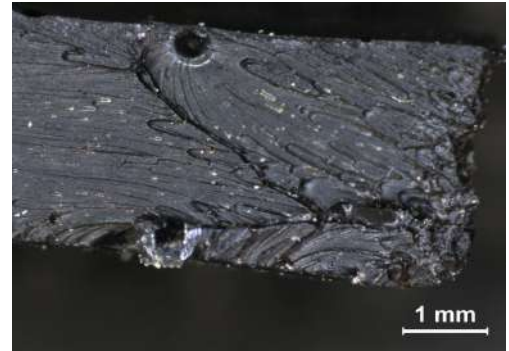


Figura 81. Zona 1e Zona 2- Provete 3 PC RE 5ºciclo

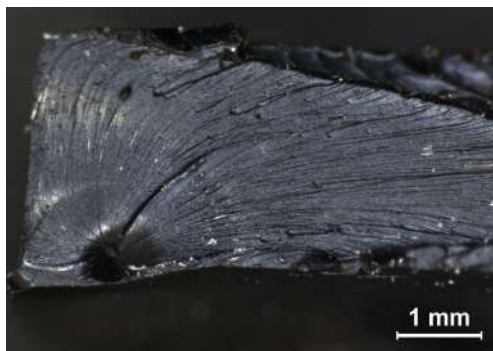
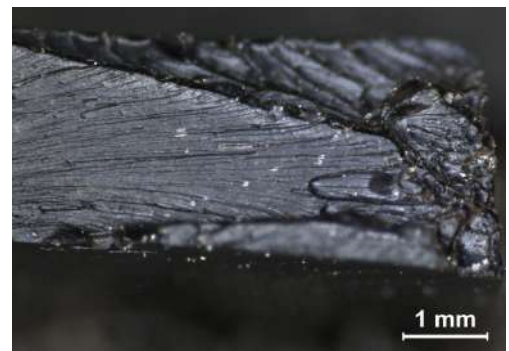


Figura 82. Zona 1e Zona 2- Provete 5 PC RE 5ºciclo

APÊNDICE VI- IMAGEM SEM

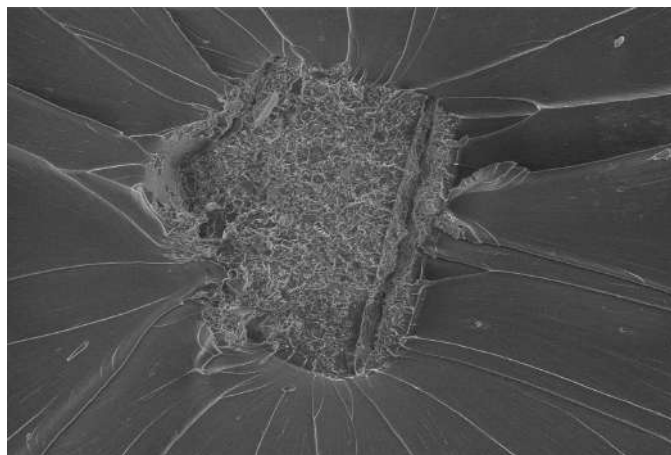


Figura 83. Imagem SEM da superfície do provete 5 do 4º ciclo de processamento do PC

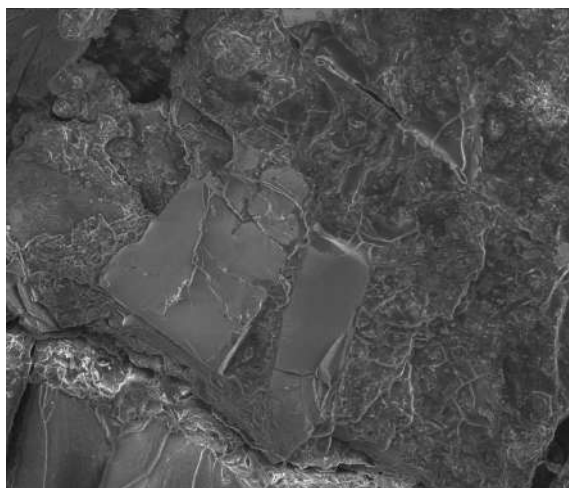
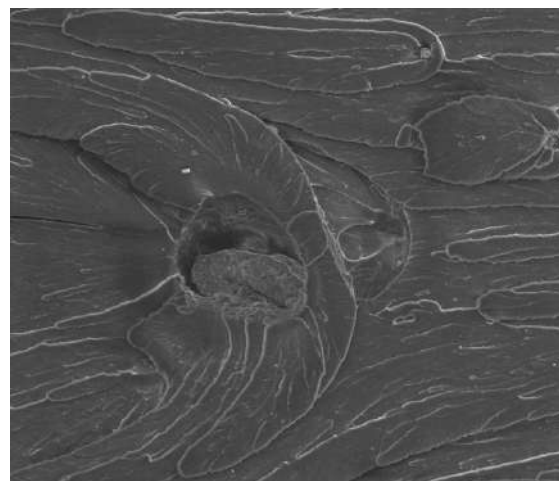
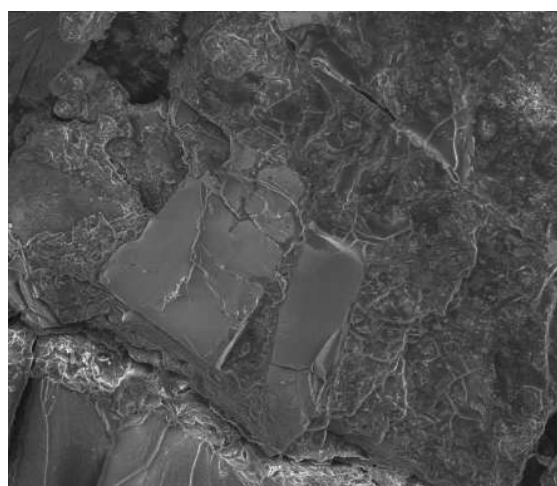


Figura 84. Imagem SEM da superfície do provete 4 do 5º ciclo de processamento do PC

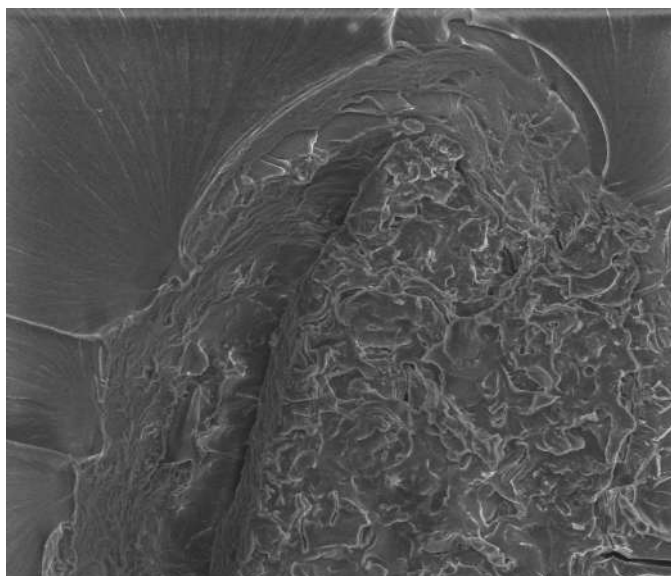


Figura 85. Imagem SEM da superfície do provete 7 do 4º ciclo de processamento do PC

APÊNDICE VII- CÁLCULO INTERMÉDIO DA ANÁLISE DE CUSTOS

Tabela 31. Informação referente ao custo da matéria-prima

Peso da peça+jito	0,047172
Custo de 1 kg de PC (€)	3,52
Custo de 1 kg de PC RE (€)	5,30

Tabela 32. Cálculos intermédios do custo de produção de uma peça

		PC	PC RE
Custo da injeção de uma peça (€)	Tempo de ciclo (s)	30	30
	Nº de cavidades	1	1
	Nº de operadores	0,25	0,25
	Custo do processo	0,2690	0,2690
Custo da matéria-prima utilizada para a produção de uma peça (peça+jito) (€)		0,16604544	0,2500116
Custo da produção de uma peça (€)		0,4350	0,5190

APÊNDICE VIII- CÁLCULOS INTERMÉDIOS E FATOR DE EMISSÃO UTILIZADO EM CADA CATEGORIA DA PCP

Tabela 33. Fator de emissão considerado em cada uma das categorias

		FE	Unidades	Fonte
Produção da Matéria-Prima	PC	3,102	kgCO ₂ eq/kg	(DEFRA, 2023)
	PC RE	1,5	kgCO ₂ eq/kg	(Covestro, 2023)
Aquisição da Matéria-Prima	Veículo Pesado Articulado	0,91733	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)
Processamento da Matéria-Prima	Eletricidade	0,24428	kgCO ₂ eq/kW	Fatura mensal
	Refugo	3,102	kgCO ₂ eq/kg	(DEFRA, 2023)
Transporte/Distribuição	Veículo Pesado	0,826087	kgCO ₂ eq/km	(DEFRA, 2023)

Tabela 34. Pegada de Carbono associada ao transporte upstream e downstream

	Transporte Upstream	Transporte Downstream
Distância (km)	392	1119
FA (%)	3,03	50
Emissões por transporte (kgCO ₂ eq)	9,811	513,2461
Unidades/Peso por transporte (un/kg)	800	110570
Emissões por peça (kgCO ₂ eq)	0,0123	0,00022

Tabela 35. Emissões associadas à injeção de uma peça

	PC / PC RE
Potência (kW)	12,4
Tempo de ciclo (h)	0,00833
Energia (kWh)	0,10333
Emissões injeção de uma peça (kgCO₂eq)	0,02524

Tabela 36. Emissões associadas à produção da matéria-prima utilizada na produção da peça

	PC	PC RE
Quantidade de matéria-prima utilizada na injeção (peça+jito) (kg)	0,047172	0,047172
Emissões da produção da matéria-prima (kgCO₂eq)	0,146327544	0,070758

Tabela 37. Emissões associadas ao processo de reciclagem de uma peça

	PC	Observações
Peças OK	227565	
Peças NOK	4626	
% refugo na produção	1,992	1 em cada 50 peças é NOK
Emissões reciclagem 1peça (kgCO₂eq)	0,837	
Emissões prováveis caso ocorra durante a produção da peça uma NOK	0,0167	

ANEXO

ANEXO I- TIPOLOGIAS DOS RESÍDUOS TRATADOS

Tipologia	Tratamento
Equipamentos elétricos e eletrônicos (REE)	Troca de resíduos → Reciclagem
Lâmpadas fluorescentes e contendo mercúrio	Troca de resíduos → Reciclagem
Componentes retirados de equipamentos fora de uso	Troca de resíduos → Reciclagem
Equipamentos fora de uso	Troca de resíduos → Reciclagem
Outros materiais	Depósitos no solo (Aterro)
Embalagens metal (embalagens sob pressão)	Troca de resíduos → Reciclagem
Embalagens de plástico	Troca de resíduos → Reciclagem
Embalagens de papel e cartão	Troca de resíduos → Reciclagem
Embalagens contaminadas p/ resíduos	Depósitos no solo (Aterro)
Embalagens contaminadas p/ resíduos	Reciclagem
Embalagens contaminadas p/ resíduos	Reciclagem
Aparas de plásticos	Troca de resíduos → Reciclagem
Aparas de plásticos	Troca de resíduos → Reciclagem
Aparas de plásticos	Troca de resíduos → Reciclagem
Aparas de plásticos	Reciclagem
Aparas de plásticos	Troca de resíduos → Reciclagem
Aparas e Limalhas de metais ferrosos	Troca de resíduos → Reciclagem
Aparas e Limalhas de metais não ferrosos	Troca de resíduos → Reciclagem
Água com óleo	Tratamento físico-químico → Aterro
Lamas cromagem	Depósitos no solo (Aterro)
Lamas Tintas e vernizes	Depósitos no solo (Aterro)
Resíduos de tintas e vernizes (diluentes)	Depósitos no solo (Aterro)
Resíduos de tintas e vernizes (diluentes)	Tratamento físico-químico → Aterro
Resíduos de tintas e vernizes (diluentes)	Troca de resíduos → Reciclagem

ANEXO II- FICHA TÉCNICA PC MAKROLON 2405



Makrolon® 2405

General purpose grades / Low viscosity

MVR (300 °C/1.2 kg) 19 cm³/10 min; general purpose; low viscosity; easy release; injection molding - melt temperature 280 - 320 °C; available in transparent, translucent and opaque colors

ISO Shortname

PC

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	300 °C/ 1.2 kg	cm³/10 min	ISO 1133	19
Melt mass-flow rate	300 °C/ 1.2 kg	g/10 min	ISO 1133	20
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2 mm²/ 500 bar	%	ISO 294-4	0.65
C Molding shrinkage, normal	60x60x2 mm²/ 500 bar	%	ISO 294-4	0.7
Molding shrinkage, parallel/normal	Value range based on general practical experience	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2400
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	65
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	6.0
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	> 50
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	65
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	125
C Tensile creep modulus	1 h	MPa	ISO 899-1	2200
C Tensile creep modulus	1000 h	MPa	ISO 899-1	1900
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2350
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	97
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	7.1
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	73
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m²	ISO 179/1eU	N
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m²	ISO 179/1eU	N
Charpy impact strength	-60 °C	kJ/m²	ISO 179/1eU	N
Charpy notched impact strength	23 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 179/1eA	65P
Charpy notched impact strength	-30 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 179/1eA	14C
Izod notched impact strength	23 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 180/A	65P
Izod notched impact strength	-30 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 180/A	15C
C Puncture impact properties - maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	5100
C Puncture impact properties - maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	6000
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	55
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	65
Ball indentation hardness		N/mm²	ISO 2039-1	115



Makrolon® 2405

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Thermal properties				
C Glass transition temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-2	144
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	124
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	137
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	145
C Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	146
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Coefficient of linear thermal expansion, normal	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.75 mm	Class	UL 94	V-2
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.36 mm	Class	UL 94	V-2
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	2.7 mm	Class	UL 94	HB
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	27
Thermal conductivity, through-plane	23 °C; 50 % r. h.	W/(m·K)	ISO 8302	0.20
Resistance to heat (ball pressure test)		°C	IEC 60695-10-2	136
Relative temperature index (Tensile strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
Relative temperature index (Tensile impact strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	115
Relative temperature index (Electric strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
Glow wire test (GWI)	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-12	850
Glow wire test (GWI)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-12	875
Glow wire test (GWI)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-12	930
Glow wire test (GWI)	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Glow wire test (GWI)	1.0 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Glow wire test (GWI)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Glow wire test (GWI)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Application of flame from small burner	Method K and F/ 2.0 mm	Class	DIN 53436-1,-3	K1, F1
Needle flame test	Method K/ 1.5 mm	s	IEC 60695-11-5	5
Needle flame test	Method K/ 2.0 mm	s	IEC 60695-11-5	5
Needle flame test	Method K/ 3.0 mm	s	IEC 60695-11-5	10
Needle flame test	Method F/ 1.5 mm	s	IEC 60695-11-5	60
Needle flame test	Method F/ 2.0 mm	s	IEC 60695-11-5	120
Needle flame test	Method F/ 3.0 mm	s	IEC 60695-11-5	120
Burning rate (US-FMVSS)	≥1.0 mm	mm/min	ISO 3795	passed
Flash ignition temperature		°C	ASTM D1929	480
Self ignition temperature		°C	ASTM D1929	550
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	5
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	90
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 62631-3-1	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 62631-3-2	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	34
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	250
C Comparative tracking index CTI M	Solution B	Rating	IEC 60112	125M
C Electrolytic corrosion		Rating	IEC 60426	A1



Makrolon® 2405

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.30
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.12
C Density		kg/m³	ISO 1183-1	1200
Water vapor permeability	23 °C; 85 % RH/ 100 µm film	g/(m²·24 h)	ISO 15106-1	15
Gas permeation	Oxygen/ 100 µm film	cm³/(m²·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	700
Gas permeation	Oxygen/ 25.4 µm (1 mil) film	cm³/(m²·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	3150
Gas permeation	Nitrogen/ 100 µm film	cm³/(m²·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	130
Gas permeation	Nitrogen/ 25.4 µm (1 mil) film	cm³/(m²·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	630
Gas permeation	Carbon dioxide/ 100 µm film	cm³/(m²·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	4000
Gas permeation	Carbon dioxide/ 25.4 µm (1 mil) film	cm³/(m²·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	18900
Bulk density	Pellets	kg/m³	ISO 60	660
Material specific properties				
Refractive Index	Procedure A	-	ISO 489	1.565
Haze for transparent materials	3 mm	%	ISO 14782	< 0.8
Luminous transmittance (clear transparent materials)	1 mm	%	ISO 13468-2	89
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	2 mm	%	ISO 13468-2	89
Luminous transmittance (clear transparent materials)	3 mm	%	ISO 13468-2	88
Luminous transmittance (clear transparent materials)	4 mm	%	ISO 13468-2	87
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding - Melt temperature		°C	ISO 294	280
C Injection molding - Mold temperature		°C	ISO 294	80
C Injection molding - Injection velocity		mm/s	ISO 294	200
Recommended processing and drying conditions				
Melt temperatures		°C	-	260 - 320
Standard Melt temperature		°C	-	300
Barrel Temperatures - Rear		°C	-	250 - 260
Barrel Temperatures - Middle		°C	-	270 - 280
Barrel Temperatures - Front		°C	-	280 - 290
Barrel Temperatures - Nozzle		°C	-	290 - 300
Mold Temperatures		°C	-	80 - 120
Hold Pressure (% of injection pressure)		%	-	50 - 75
Plastic Back Pressure (specific)		bar	-	50 - 150
Peripheral Screw Speed		m/s	-	0.05 - 0.2
Shot-to-Cylinder Size		%	-	30 - 70
Dry Air Drying Temperature		°C	-	120
Dry Air Drying Time		h	-	2-3
Moisture Content max. (%)		%	-	<= 0.02
Vent Depth		mm	-	0.025 - 0.075

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break

ANEXO III- FICHA TÉCNICA PC MAKROLON 2405 RE



Makrolon® 2405 RE

Partially bio-circular grade / Attributed via mass balance (according to ISCC PLUS Standard). For specific content see sustainability declaration. MVR (300 °C/1.2 kg) 19 cm³/10 min; general purpose; low viscosity; easy release; injection molding - melt temperature 280 - 320 °C; available in transparent, translucent and opaque colors

ISO Shortname

PC

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	300 °C/ 1.2 kg	cm³/10 min	ISO 1133	19
Melt mass-flow rate	300 °C/ 1.2 kg	g/10 min	ISO 1133	20
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2 mm³ 500 bar	%	ISO 294-4	0.65
C Molding shrinkage, normal	60x60x2 mm³ 500 bar	%	ISO 294-4	0.7
Molding shrinkage, parallel/normal	Value range based on general practical experience	%	b.o. ISO 2577	0.5 - 0.7
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2400
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	65
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	6.0
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	> 50
Stress at break	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	65
Strain at break	50 mm/min	%	b.o. ISO 527-1,-2	125
C Tensile creep modulus	1 h	MPa	ISO 899-1	2200
C Tensile creep modulus	1000 h	MPa	ISO 899-1	1900
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2350
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	97
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178	7.1
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178	73
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m²	ISO 179/1eU	N
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m²	ISO 179/1eU	N
Charpy impact strength	-60 °C	kJ/m²	ISO 179/1eU	N
Charpy notched impact strength	23 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 179/1eA	65P
Charpy notched impact strength	-30 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 179/1eA	14C
Izod notched impact strength	23 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 180/A	65P
Izod notched impact strength	-30 °C/ 3 mm	kJ/m²	ISO 21305/based on ISO 180/A	15C
C Puncture impact properties - maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	5100
C Puncture impact properties - maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	6000
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	55
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	65
Ball indentation hardness		N/mm²	ISO 2039-1	115



Makrolon® 2405 RE

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Thermal properties				
C Glass transition temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-2	144
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	124
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	137
C Vicat softening temperature	50 N; 50 °C/h	°C	ISO 306	145
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	146
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Coefficient of linear thermal expansion, normal	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.75 mm	Class	UL 94	V-2
Burning behavior UL 94 [UL recognition]	0.36 mm	Class	UL 94	V-2
Burning behavior UL 94 [UL recognition]	2.7 mm	Class	UL 94	HB
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	27
Thermal conductivity, through-plane	23 °C; 50 % r. h.	W/(m·K)	ISO 8302	0.20
Resistance to heat (ball pressure test)		°C	IEC 60695-10-2	136
Relative temperature index (Tensile strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
Relative temperature index (Tensile impact strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	115
Relative temperature index (Electric strength) [UL recognition]	1.5 mm	°C	UL 746B	125
Glow wire test (GWI)	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-12	850
Glow wire test (GWI)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-12	875
Glow wire test (GWI)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-12	930
Glow wire test (GWIT)	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Glow wire test (GWIT)	1.0 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Glow wire test (GWIT)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Glow wire test (GWIT)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-13	875
Application of flame from small burner	Method K and F/2.0 mm	Class	DIN 53438-1,-3	K1, F1
Needle flame test	Method K/1.5 mm	s	IEC 60695-11-5	5
Needle flame test	Method K/2.0 mm	s	IEC 60695-11-5	5
Needle flame test	Method K/3.0 mm	s	IEC 60695-11-5	10
Needle flame test	Method F/1.5 mm	s	IEC 60695-11-5	60
Needle flame test	Method F/2.0 mm	s	IEC 60695-11-5	120
Needle flame test	Method F/3.0 mm	s	IEC 60695-11-5	120
Burning rate (US-FMVSS)	≥1.0 mm	mm/min	ISO 3795	passed
Flash ignition temperature		°C	ASTM D1929	480
Self ignition temperature		°C	ASTM D1929	550
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	3.1
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	3.0
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	5
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	90
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 62631-3-1	1E14
C Surface resistivity		Ohm	IEC 62631-3-2	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	34
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	250
Comparative tracking index CTI M	Solution B	Rating	IEC 60112	125M
Electrolytic corrosion		Rating	IEC 60426	A1



Makrolon® 2405 RE

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.30
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.12
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1200
Water vapor permeability	23 °C; 85 % RH/ 100 µm film	g/(m ² ·24 h)	ISO 15106-1	15
Gas permeation	Oxygen/ 100 µm film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	700
Gas permeation	Oxygen/ 25.4 µm (1 mil) film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	3150
Gas permeation	Nitrogen/ 100 µm film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	130
Gas permeation	Nitrogen/ 25.4 µm (1 mil) film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	630
Gas permeation	Carbon dioxide/ 100 µm film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	4000
Gas permeation	Carbon dioxide/ 25.4 µm (1 mil) film	cm ³ /(m ² ·24 h·bar)	b.o. ISO 2556	18900
Bulk density	Pellets	kg/m ³	ISO 60	660
Material specific properties				
Refractive index	Procedure A	-	ISO 489	1.585
Haze for transparent materials	3 mm	%	ISO 14782	< 0.8
Luminous transmittance (clear transparent materials)	1 mm	%	ISO 13468-2	89
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	2 mm	%	ISO 13468-2	89
Luminous transmittance (clear transparent materials)	3 mm	%	ISO 13468-2	88
Luminous transmittance (clear transparent materials)	4 mm	%	ISO 13468-2	87
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding - Melt temperature		°C	ISO 294	280
C Injection molding - Mold temperature		°C	ISO 294	80
C Injection molding - Injection velocity		mm/s	ISO 294	200
Recommended processing and drying conditions				
Melt temperatures		°C	-	280 - 320
Standard Melt temperature		°C	-	300
Barrel Temperatures - Rear		°C	-	250 - 260
Barrel Temperatures - Middle		°C	-	270 - 280
Barrel Temperatures - Front		°C	-	280 - 290
Barrel Temperatures - Nozzle		°C	-	290 - 300
Mold Temperatures		°C	-	80 - 120
Hold Pressure (% of injection pressure)		%	-	50 - 75
Plastic Back Pressure (specific)		bar	-	50 - 150
Peripheral Screw Speed		m/s	-	0.05 - 0.2
Shot-to-Cylinder Size		%	-	30 - 70
Dry Air Drying Temperature		°C	-	120
Dry Air Drying Time		h	-	2-3
Moisture Content max. (%)		%	-	<= 0.02
Vent Depth		mm	-	0.025 - 0.075

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break