



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

ENGENHARIA MECÂNICA

ISABELLA LUÍSA VIEIRA AQUINO CASSIMIRO

**REFLETORES AUTOMOTIVOS FABRICADOS COM
POLICARBONATO CONTENDO DIÓXIDO DE TITÂNIO**

Belo Horizonte

2019

ISABELLA LUÍSA VIEIRA AQUINO CASSIMIRO

REFLETORES AUTOMOTIVOS FABRICADOS COM POLICARBONATO CONTENDO DIÓXIDO DE TITÂNIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Engenharia de manufatura e materiais.

Orientador (a): Maria Teresa Paulino Aguilar

Universidade Federal de Minas Gerais

Coorientador (a): Rosemary do Bom Conselho Sales

Universidade do Estado de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2019

Cassimiro, Isabella Luísa Vieira Aquino.

C345r Refletores automotivos fabricados com policarbonato contendo dióxido de titânio [recurso eletrônico] / Isabella Luísa Vieira Aquino Cassimiro. - 2019.

1 recurso online (xi, 56 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Maria Teresa Paulino Aguilar.

Coorientadora: Rosemary do Bom Conselho Sales.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 54-56.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Dióxido de titânio - Teses.
3. Metalização - Teses. 4. Policarbonatos - Teses. I. Aguilar, Maria Teresa Paulino. II. Sales, Rosemary do Bom Conselho. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 621 (043)

Biblioteca Prof. Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA
 Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Universitário
 31270-901 - Belo Horizonte - MG
 Tel.: +55 31 3409.5145
 E-mail: cpgmec@demec.ufmg.br

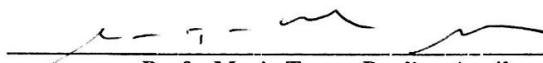
**"REFLETORES AUTOMOTIVOS FABRICADOS COM
 POLICARBONATO CONTENDO DIÓXIDO DE TITÂNIO "**

ISABELLA LUISA VIEIRA AQUINO CASSIMIRO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia Mecânica", na área de concentração de "Engenharia de Manufatura e Materiais".

Dissertação aprovada no dia 18 de novembro de 2019.

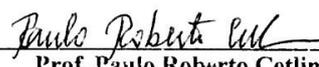
Por:



Profa. Maria Teresa Paulino Aguilar
 Orientadora - Depto. de Engenharia de Materiais e Construção Civil/ UFMG



Profa. Rosemary do Bom Conselho Sales
 Coorientadora - Escola de Design/ UEMG



Prof. Paulo Roberto Cetlin
 Departamento de Engenharia Mecânica/ UFMG



Dr. Julio Cesar de Souza
 Fiat Chrysler Automobiles LATAM

*Aos meus mestres: pais e professores, meu
marido, filha e à minha família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus a oportunidade dessa existência na Terra.

Gostaria de agradecer também aos meus pais pelo amor, carinho e exemplo de conduta humana que eles sempre foram para mim, eles são e sempre serão meus eternos mestres.

Agradeço também ao meu marido e eterno amor, Lucas, e filhinha Lara que de forma especial e carinhosa me deram força e coragem nessa caminhada.

Agradeço à minha família, que sempre me apoiou nas decisões tomadas e me orientou qual o melhor caminho a ser seguido.

Aos professores da universidade que se empenharam em transferir a maior parcela de conhecimento possível para formar bons alunos. Em especial, à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maria Teresa Aguilar, por toda motivação, exemplo de professora, orientadora e pesquisadora a ser seguida, e a coorientadora, Prof.^a Dr.^a Rosemary Sales, pela orientação competente e atenção cuidadosa no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O Policarbonato (PC) associado ao Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) é o material mais utilizado para a fabricação de refletores de lanternas para aplicação no interior de veículos automotivos. No entanto, o polímero resultante não apresenta propriedades refletivas e deve passar por um processo de metalização. É interessante desenvolver polímeros alternativos para a fabricação dos refletores que não requeiram a fase de metalização. De acordo com a literatura, o uso de dióxido de titânio (TiO_2) associado a materiais cerâmicos ou poliméricos, promove melhoria nas propriedades ópticas, como a reflexão, desses materiais. Nesse sentido, esta pesquisa investiga o desempenho de refletores fabricados com policarbonato associado ao ABS e policarbonato com adição de TiO_2 . Após caracterização dos materiais, realizam-se testes de resistência da solda, eficiência reflexiva, teste de envelhecimento acelerado e termografia infravermelha. Avaliam-se a resistência da solda, a eficiência luminosa, a durabilidade e o desempenho térmico dos componentes. Os resultados indicam que o refletor fabricado com policarbonato e adição de TiO_2 apresenta menor iluminância do que o metalizado, porém permanece dentro da faixa aceitável de reflexão exigida na indústria automotiva. Observa-se que a solda da lente com o corpo da lanterna não compromete nem a resistência e nem na aparência. O envelhecimento acelerado mostra que ambas as peças apresentam o mesmo desempenho. Quando sujeita ao calor gerado pelas lâmpadas, a lanterna confeccionada com TiO_2 , fica 11°C abaixo da temperatura medida na lanterna com metalização. Estes resultados indicam o policarbonato com adição de Dióxido de titânio como um potencial substituto da fase de metalização das lanternas internas de veículos automotivos.

Palavras Chaves: policarbonato, dióxido de titânio, metalização, refletor automotivo.

ABSTRACT

Polycarbonate (PC) associated with Acrylonitrile - Butadiene- Styrene (ABS) is the most widely used material for the manufacture of automotive vehicle's internal lantern reflectors. However, the resulting polymer has no reflective properties and must undergo a metallization process. It is interesting to develop alternative polymers for the manufacture of reflectors that do not require the metallization phase. According to the literature, the use of titanium dioxide (TiO_2) associated with ceramic or polymeric materials, promotes improvement in the optical properties of these materials. In this sense, this research investigates the performance of reflectors manufactured with ABS-associated polycarbonate and TiO_2 -added polycarbonate. After characterization of the materials, weld resistance tests, reflective efficiency, accelerated aging test and infrared thermography are performed. The weld resistance, the luminous efficiency, the durability and the thermal performance of the components are evaluated. The results indicate that the reflector made of polycarbonate and TiO_2 addition has lower illuminance than metallized but remains within the acceptable range of reflection required in the automotive industry. It is observed that welding the lens with the body of the flashlight does not compromise its resistance or appearance. Accelerated aging shows that both parts perform similarity. When subjected to the heat generated by the lamps, the TiO_2 flashlight is 11°C below the temperature measured on the metallized flashlight. These results indicate polycarbonate with the addition of Titanium Dioxide as a potential substitute for the metallization phase of automotive vehicle interior lanterns.

Keywords : *polycarbonate, titanium dioxide, metallization, automotive reflector.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Divisão dos materiais no veículo.....	5
Figura 2 – Dispersão da luz incidente refletida em uma superfície de polycarbonato com Dióxido de titânio (TiO ₂)	8
Figura 3 – Comportamento do PC com TiO ₂ à medida que aumenta o comprimento de onda da luz incidente.	9
Figura 4 – Composição básica de luz interna automotiva	10
Figura 5 – A máquina de injeção.....	11
Figura 6 – Fases do processo de evaporação do alumínio	13
Figura 7 – Aspecto final de uma solda em uma lanterna interna automotiva.....	16
Figura 8 – Veículos que utilizam refletores metálicos típicos até a década de 60.....	18
Figura 9 – Veículos que utilizam refletores de plástico na década de 90	18
Figura 10 – Interior de um veículo ilustrando os componentes de iluminação	18
Figura 11 – Princípio, reflexão e refração	19
Figura 12 – Termograma de dois recipientes contendo líquido frio e quente	21
Figura 13 – Etapas do trabalho experimental	24
Figura 14 – Desenho esquemático e corte da lanterna sem a lente	26
Figura 15 – Molde utilizado para injeção plástica do refletor	27
Figura 16 – Ilustração de falha na metalização na peça ABS/PC	28
Figura 17 – Ilustração da lente em PMMA	28
Figura 18 – Esquema de montagem da peça	29
Figura 19 – Amostra final dos refletores montados com a lente de PMMA	29
Figura 20 – Difratorômetro de raios x Philips-Panalytical PW 1710	30
Figura 21 – Espectômetro de infravermelho Nicolet 6700 (Thermo Fischer)	31
Figura 22 – Equipamento de termogravimetria SDT TA Instrumento modelo Q600.	31
Figura 23 – Compressor ATEQ modelo série 5 F42	32
Figura 24 – Montagem do teste de resistência da soldagem em tanque com água ...	32
Figura 25 – Luxímetro CL-200, marca Konica Minolta	33
Figura 26 – Regiões do interior parte frontal do veículo onde foi medida a luminosidade da peça	34

Figura 27 – Câmara climática da marca Fanem e modelo 345	34
Figura 28 – FLIR modelo Therma CAM-T-420	35
Figura 29 – Câmara climática onde foi realizado o teste a 60°C+2°C	35
Figura 30 – Esquema de montagem do equipamento de termografia e da câmara climática	36
Figura 31 – Esquema de leitura de pontos na região esquerda, região central e região direita	37
Figura 32 – Esquema de leitura mostrando as linhas de perfil L-01 e L-02	37
Figura 33 – Resultados difratometria de raio X ABS/PC	38
Figura 34 – Resultados difratometria de raio X PC/TiO ₂	39
Figura 35 – Resultados da espectroscopia por infravermelho ABS/PC	39
Figura 36 – Resultados da espectroscopia por infravermelho PC/TiO ₂	40
Figura 37 – Resultados da termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG) do ABS/PC	41
Figura 38 – Resultados da termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG) do PC/TiO ₂	41
Figura 39 – Aspecto das soldas das amostras ABS/PC + Metalização e PC com aditivo de TiO ₂	44
Figura 40 – Resultado físico do teste de envelhecimento acelerado	46
Figura 41 – Termograma mostrando pontos na região esquerda região central e região direita	47
Figura 42 – Termograma mostrando as linhas de perfil L- 01 L- 02.....	49
Figura 43 – Corpo do refletor sem lente ABS/PC metalizado	50
Figura 44 – Corpo do refletor sem lente PC/TiO ₂	51
Figura 45 – Lanterna de ABS/PC/metalizado com a lente de PMMA.....	52
Figura 46 – Lanterna de PC com 10% de TiO ₂ com lente	52

LISTA DE TABELAS

1. Classificação dos polímeros.....	3
2. Tipos de polímeros utilizados nos automóveis	6
3. Soldabilidade entre materiais termoplásticos	17
4. Intensidade luminosa por classe de tarefas visuais	20
5. Parâmetros típicos dos materiais ABC/PC e PC/TiO ₂	25
6. Parâmetros técnicos para injeção dos materiais	27
7. Dados técnicos do teste de Vicat	27
8. Valores de luminosidade em Lux (lx) estabelecidos pela norma Interna da montadora	33
9. Resultado do teste de pressão	42
10. Hipóteses para a amostra de dez peças e decisão	43
11. Soldabilidade entre materiais termoplásticos	44
12. Resultado do teste de iluminação	45
13. Valores de leitura termográfica e de referência Vicat dos materiais	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVO	2
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	Polímeros.....	3
3.1.1	Conceito e Classificação.....	3
3.1.2	Utilização de polímeros na indústria automotiva.....	6
3.1.2.1	Policarbonatos.....	7
3.1.2.2	Policarbonatos com adição de dióxido de titânio.....	10
3.2	Processo de fabricação de luzes internas automotivas.....	11
3.2.1	Processo e equipamento de injeção plástica.....	12
3.2.2	Metalização de polímeros.....	15
3.2.3	Processo de soldagem em polímeros.....	17
3.3	Luzes internas automotivas.....	28
3.3.1	Avaliação da eficiência reflexiva.....	30
3.3.2	Avaliação do desempenho térmico por termografia infravermelha.....	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Materiais	36
4.2	Métodos.....	36
4.2.1	Seleção e fabricação da lanterna.....	37
4.2.2	Testes experimentais.....	41
4.2.2.1	Caracterização dos materiais	41
4.2.2.1.1	A espectroscopia na região do Infravermelho com Transformada de Fourier..	41
4.2.2.1.2	Análise Termogravimétrica.....	42
4.2.2.2	Teste da resistência da solda.....	42
4.2.2.3	Teste de eficiência reflexiva.....	44
4.2.2.4	Teste de envelhecimento acelerado.....	45
4.2.2.5	Teste com termografia infravermelha.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	Caracterização dos materiais.....	50
5.1.1	A espectroscopia na região do Infravermelho com transformada de Fourier..	51
5.1.2	Análise Termogravimétrica.....	51
5.2	Teste da resistência da solda.....	53
5.2.1	Análise estatística.....	54
5.2.2	Resultado visual da solda.....	58
5.3	Teste de eficiência reflexiva.....	59
5.4	Teste de envelhecimento acelerado.....	60
5.5	Teste de termografia infravermelha.....	61
6	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

As lanternas posicionadas na região interna do revestimento de teto dos automóveis têm a função de proporcionar segurança, conforto, estética, além de integrarem a sinalização dos veículos. Normalmente, elas são compostas por: lente, corpo e componentes (fonte de luz, botões de acionamento e circuito metálico).

As lentes são fabricadas com um polímero de alta transparência e boa resistência mecânica, o Polimetilmetacrilato (PMMA), comercialmente conhecido como acrílico (LYU, 2015). As lentes são soldadas ao corpo da lanterna e exercem a função de proteção e estética do conjunto. O corpo da lanterna, também chamado de refletor automotivo, tem superfície côncava e função de refletir a luz proveniente das lâmpadas, além de sustentar os outros componentes da lanterna (PRAKASH et al., 2015). O material mais utilizado para fabricação do corpo das lanternas é a blenda de Policarbonato (PC) associado ao Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS), devido a suas características de resistência térmica, mecânica e ao impacto. O ABS/PC não possuem boa refletividade, por isso é feita uma metalização superficial do material para garantir a reflexão da luz nas lanternas e ressaltar o brilho já existente (LYU, 2015).

O processo acontece pela deposição de pastilhas de alumínio sobre resistências de tungstênio, que por evaporação depositam uma fina camada de alumínio sobre a superfície do polímero (NIGAM, MAHAPATRA, PATEL, 2016). Este processo além de aumentar o custo da lanterna demanda tempo de execução devido à complexidade da peça.

Dessa forma, tem-se buscado desenvolver polímeros alternativos para a fabricação das lanternas que não exijam a etapa de metalização. Pesquisas mostram que o dióxido de titânio (TiO_2) quando associado a alguns polímeros, cerâmicos e outros materiais, imprimem a esses materiais excelentes propriedades ópticas, o que sugere sua utilização na fabricação do corpo da lanterna, de forma a eliminar a etapa de metalização do material (WHANG, CHIANG, 2003; PATHAM, 2011).

Nesse estudo foram analisadas lanternas cujo refletor é fabricado com 30% em massa PC associado a 70% em massa de ABS metalizado e lanternas fabricadas com o refletor 90% em massa PC ao qual se adicionou de 10% em massa de dióxido de titânio (TiO_2). O estudo foi de caráter experimental e buscou eliminar a etapa de metalização que normalmente é feita nos corpos das lanternas internas dos automóveis para aumentar a reflexão e direcionamento da luz.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o uso do Policarbonato (PC) com adição de Dióxido de titânio (TiO_2) em refletores automotivos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São abordados os seguintes temas relativos a materiais poliméricos com alto índice de reflexão, aplicado em lanternas internas automotivas, instaladas no revestimento interno do teto: polímeros, conceito e classificação, sua utilização na indústria automotiva. Dentro da aplicação automotiva dos polímeros, destaca-se o Policarbonato (PC) onde, para o estudo em questão, ocorre a adição de dióxido de titânio (TiO_2). São abordados também, os processos de fabricação de lanternas de aplicação interna do automóvel como a injeção plástica, metalização de polímeros e solda. Finalmente, serão abordados os temas relativos aos testes de fabricação e eficiência, aplicados às luzes e desempenho térmico de lanternas internas automotivas.

3.1. Polímeros

3.1.1 Conceito e classificação

Polímeros são moléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e influência mútua de ordem molecular. São compostos de unidades químicas ligadas entre si por covalências, repetidas de forma regular ao longo da cadeia. Dá-se o nome de grau de polimerização, ao número de meros componentes da cadeia polimérica. (MANO, 2011)

Mesmo que todos os polímeros sejam considerados macromoléculas, nem todas as macromoléculas são consideradas polímeros. Segundo Rudin (2015), o peso molecular da grande maioria dos polímeros industrializados encontra-se na faixa de 5.000, sendo muitos deles considerados materiais de engenharia.

Os monômeros são moléculas suscetíveis às reações capazes de formar polímeros. A composição centesimal do polímero pode ser quase a mesma dos monômeros, dependendo do tipo de reação que promoveu a interligação dos meros, para a formação da cadeia polimérica (MANO, 2011; RUDIN, 2015). O nome que se dá à reação química que conduz à formação de polímeros é polimerização.

Segundo Canevarolo (2013) diz que quando um polímero tem apenas um tipo de mero, usa-se a expressão homopolímero. Quando existe mais de um tipo de mero, dá-se o nome de copolímeros.

Considerando-se um polímero qualquer, pode-se classificá-lo de diversas maneiras, conforme o critério escolhido. São eles:

- origem do polímero;
- número de monômeros;
- método de preparação do polímero;
- estrutura química da cadeia polimérica;
- encadeamento da cadeia polimérica;
- configuração dos átomos da cadeia polimérica;
- fusibilidade e/ou solubilidade do polímero;
- comportamento mecânico do polímero.

Os materiais usados em iluminação automotiva, geralmente, são plásticos compostos de termoplásticos ou termofixos. Segundo Rudin (2015), por meio das características de se fundir e/ou solubilidade, que obrigam à escolha de processamento tecnológico adequado, os polímeros podem ser agrupados em termoplásticos ou termorrígidos (termofixos). Para Mano (2011) os chamados polímeros termoplásticos se fundem através do aquecimento e solidificam por resfriamento, de forma reversível. Pertencem a esse grupo polímeros lineares ou ramificados. Tais polímeros também podem ser dissolvidos em solventes adequados. Já os polímeros termorrígidos, por aquecimento ou outra forma de tratamento, assumem estrutura reticulada, com ligações cruzadas e emaranhadas, tornando-se infusíveis.

TABELA 1
Classificação dos polímeros

Critério	Classe do polímero
Origem	Natural ou sintético
Número de monômeros	Homopolímero ou copolímero
Método de preparação.	Polímero de adição, condensação ou modificado de outro polímero
Estrutura química	Pli-hidrocarboneto, Pliamida, Poliester etc...
Fusibilidade e solubilidade	Termoplasticos ou termofixos
Comportamento mecânico	Borrachas, plásticos ou fibras

Fonte: Adaptado de Mano, 2011.

Em destaque na

TABELA são detalhados as principais características dos polímeros termofixos:

- boa resistência mecânica;
- boa estabilidade dimensional;
- boa resistência ao calor e à umidade,

Os materiais termoplásticos têm como características:

- boa resistência ao impacto;
- boa estabilidade dimensional;
- boa resistência ao calor e à umidade.

Termoplásticos são materiais rígidos e que manterão sua forma sob carregamento em temperaturas de uso, mas fluem viscosamente durante a fabricação. Termoplásticos são processados geralmente de duas formas: extrusão de perfis ou operações de conformação térmica como injeção plástica (MANO, 2011; RUDIN, 2015).

A extrusão de perfis geralmente é usada para produtos que possuem a mesma área de seção transversal ao longo de seu comprimento. Operações de conformação térmica incluem injeção em molde, fundição e outras operações de fabricação. Operações de injeção em molde usam extrusoras para fundir o material. O parafuso aquecido atua comprimindo o material fundido durante parte do ciclo para forçá-lo a entrar no molde. As partes são removidas do molde e o ciclo é repetido.

Resinas termoplásticas podem ser formadas por partes usando operações em moldes (Mano, 2011). As resinas são introduzidas nos moldes como materiais viscosos e são comprimidas para assumir o formato do molde. O modo mais simples de se produzir produtos termoplásticos é a moldagem. Em iluminação interna automotiva, os componentes fabricados em material termoplásticos são os refletores óticos e as lentes.

3.1.2. Utilização de Polímeros na indústria automotiva

Um desenvolvimento significativo na indústria de plásticos pode ser notado na última década (KOLTERNIAK, 2012). Os polímeros têm-se revelado cada vez mais como um dos principais aliados da indústria automobilística. Assim, devido às suas características, os plásticos substituíram outros materiais anteriormente usados na concepção de um automóvel, tais como os materiais metálicos: o aço e o ferro fundido.

Os polímeros têm suas aplicações na indústria automotiva conforme ilustra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde são usados em itens como para-choques, assentos, painéis de instrumentos, componentes do sistema de combustível, molduras externas, partes da carroceria, componentes de iluminação e estofamentos.

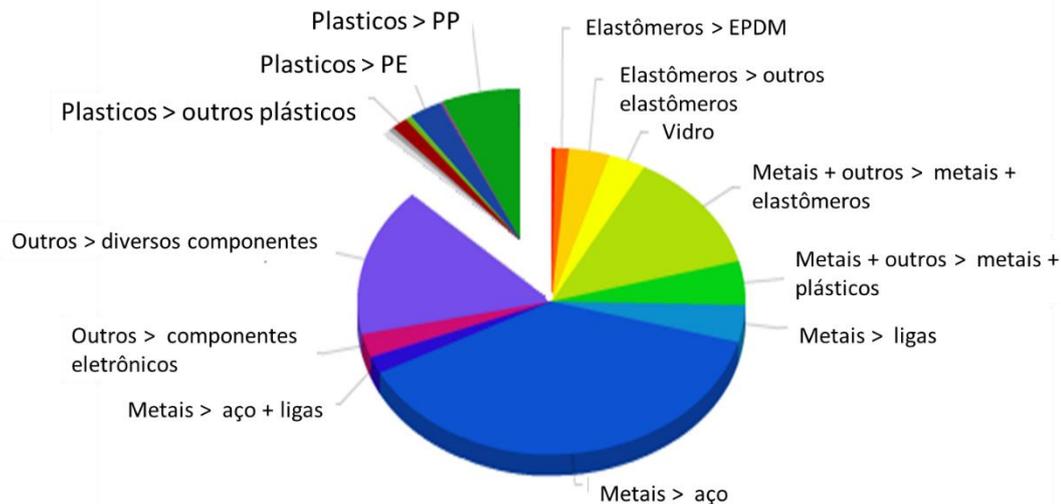


FIGURA 1- Divisão dos materiais nos veículos

Fonte: <https://a2mac1.com>, 2018. Adaptado

A TAB. 2 mostra os tipos de polímeros mais utilizados, atualmente, nos automóveis (LYU *et al.*, 2015). O material mais indicado, em destaque na tabela, para aplicação em refletores automotivos, é o termoplástico Policarbonato (PC), devido às suas propriedades óticas e térmicas que permitem resistir às altas temperaturas (calor proveniente das lâmpadas).

TABELA 2
Tipos de polímeros utilizados em automóveis

Polímero	Propriedade	Aplicação
Polipropileno (PP)	Baixo custo, boa solidificação e resistência química.	Para-choques, caixas de roda, carcaças de filtro de ar, guia canais, recipientes, lado painéis, caixa de bateria, porta guarnição, painel de travamento.
Poliuretano (PU)	Boa elasticidade, baixa condutividade térmica	Estofamento de assento, estofamentos de painel.
Acrilonitrilo, Estireno Butadieno, Copolímero (ABS)	Estabilidade dimensional, boa solidificação.	Painéis interiores, grades de radiador, painel de controle.
Poliamida (PA)	Boa estabilidade térmica, baixa permeabilidade ao gás, rígido, resistente ao envelhecimento.	Cobertura do motor, painéis, maçanetas, conectores.
Policloreto de vinila (PVC)	Resistente às intempéries, baixo custo, não inflamável.	Proteção da parte inferior do veículo, isolamento de cabos, interior de painéis.
Polietileno (PE)	Baixo custo, boa resistentes à fadiga e boa solidez.	Tanques de combustível, para-brisas recipientes de fluido.
Polioximetileno (POM)	Boa resistência química, resistente à abrasão, resistente a impactos, termicamente estável.	Clipes (fixação plásticas), conectores, componentes de rolamento.
Polimetilmetacrilato (PMMA)	Transparente, resistente a riscamento, resistente a raios UV e boa resistência mecânica.	Lentes de farol e luzes traseiras.
Polycarbonato (PC)	Resistente ao impacto, transparente, resistente a UV, boa resistência térmica.	Lentes de farol e luz traseiras, corpo e refletores de componentes de iluminação.
Polietileno tereftalato (PET)	Resistência à tração e boa rigidez.	Tecidos do acabamento interno, revestimentos, assento cintos, <i>airbags</i> .
Polibutilenotereftalato (PBT)	Rígido, boa resistência ao calor bom isolamento elétrico, precisão dimensional.	Carcaças eletrônicas, revestimentos de para-choques, carcaça de conectores.

Polieteretercetona (PEEK)	Resistente ao calor, resistente a produtos químicos.	Bomba de óleo, rolamento, peças de transmissão, peças de freio.
---------------------------	--	---

Fonte: Adaptado de LYU et al., 2015.

3.1.2.1 Policarbonatos

A reação de compostos poli-hidroxi com um monômero simples contendo carbonila, que por condensação elimina água ou cloreto de sódio, a estrutura final é caracterizada por uma carbonila ligada a dois átomos de oxigênio.

Estudos da estrutura molecular dos policarbonatos permitem fazer previsões precisas das propriedades desse polímero, para Brydson (2016), os fatores relevantes a serem considerados nos policarbonatos são:

- (1) a molécula tem uma estrutura simétrica;
- (2) os grupos carbonatos são polares, mas separados por hidrocarbonetos aromáticos;
- (3) a presença de anéis de benzeno na cadeia restringe a flexibilidade de grupos;
- (4) a unidade de repetição da molécula é longa.

Seguem as principais características que diferenciam os policarbonatos disponíveis são:

- (1) diferenças no peso molecular;
- (2) a presença ou não de um segundo composto poli-hidroxiado;
- (3) diferenças nos aditivos aplicados.

Na gama habitual dos policarbonatos para moldagem e extrusão, um aumento do peso molecular leva a, comparativamente, pequenas melhorias na resistência à tração (CANEVAROLO, 2013; BRYDSON, 2016).

Segundo Brydson (2016),

O peso molecular é controlado pelo uso de aditivo multifuncionais, tais como iso-octilfenóis que origina terminais alquilfenílicos ramificados. Estes polímeros exibem uma diminuição acentuada na viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento que os torna particularmente adequados para extrusão e moldagem (BRYDSON, 2016).

Segundo Brydson (2016), os policarbonatos possuem um custo maior se comparado aos termoplásticos de uso geral como o Polipropileno (PP), porém eles possuem diversas características desejáveis como:

- (1) boa rigidez até 140°C;
- (2) boa resistência térmica até 140°C;
- (3) transparência;
- (4) boas características de isolamento elétrico.

Também existem algumas desvantagens listadas como:

- (1) custo mais elevado comparado ao polietileno, poliestireno e PVC;
- (2) cuidados especiais requeridos no processamento;
- (3) resistência limitada a produtos químicos e luz ultravioleta.

Aditivo em policarbonatos

As propriedades de um policarbonato podem ser alteradas consideravelmente pela incorporação de aditivos, que são amplamente utilizados para modificar propriedades de polímeros, e assim ampliar a gama de aplicação. Para Brydson (2016), provavelmente, os exemplos mais conhecidos estão na tecnologia da borracha, onde variações na escolha de aditivos podem produzir tais produtos amplamente diferentes como pneus, látex, elástico e borrachas.

Em alguns casos, um aditivo pode ser encontrado em uma variedade de polímeros para uma vasta gama de utilizações finais, por exemplo, certos antioxidantes. Em outros casos, o aditivo pode ser muito específico para um determinado polímero, para um uso final particular, como é o caso do Dióxido de titânio (TiO_2) adicionado a resina de Policarbonato (PC), que permite ao Policarbonato (PC) atingir propriedades ópticas próximas a de metais.

3.1.2.2. Policarbonato com adição de Dióxido de titânio

O Dióxido de titânio (TiO_2) é um composto químico de coloração branca com boas propriedades de dispersão da luz, pois absorve pouco a luz visível (SHALIK et al., 2016). A FIG.2 exemplifica comportamento da luz quando refletida em uma superfície de Policarbonato (PC) com Dióxido de titânio (TiO_2).

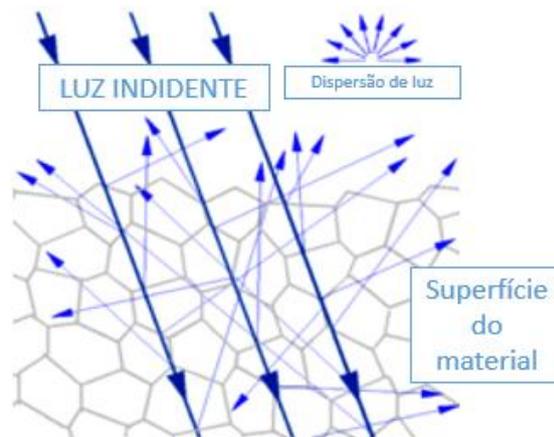


FIGURA 2- Dispersão da luz incidente refletida em uma superfície de Policarbonato com Dióxido de titânio (TiO₂)

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O Titânio (Ti) é o nono elemento mais abundante na crosta terrestre, e é encontrado na combinação com o Oxigênio (O) na forma de minerais. Segundo Buxbaum (2008), entre as propriedades do Dióxido de titânio (TiO₂) as que mais se destacam são o índice de refração próximo de 3, a não-toxicidade e o baixo custo. Nas temperaturas abaixo de 300 °C ele possui a cor branca, isso depende de modificações cristalinas e pureza das partículas.

Partículas menores dispersam a luz com comprimento de ondas mais curtas; assim o material possui uma cor branca, enquanto partículas maiores exibem um tom mais amarelado (BUXBAUM, 2008).

A FIG.3 exemplifica o percentual de reflexão do Policarbonato (PC) com 10% em massa de Dióxido de titânio (TiO₂) por comprimento de onda, onde se demonstra o alto índice de reflexão da luz incidente; à medida que aumenta o comprimento da onda, esse valor é próximo de 95% na faixa de onda da luz de 450 a 700 nm. Dessa forma, o Policarbonato (PC) com Dióxido de titânio (TiO₂) adquire propriedades ópticas próximas a de metais.

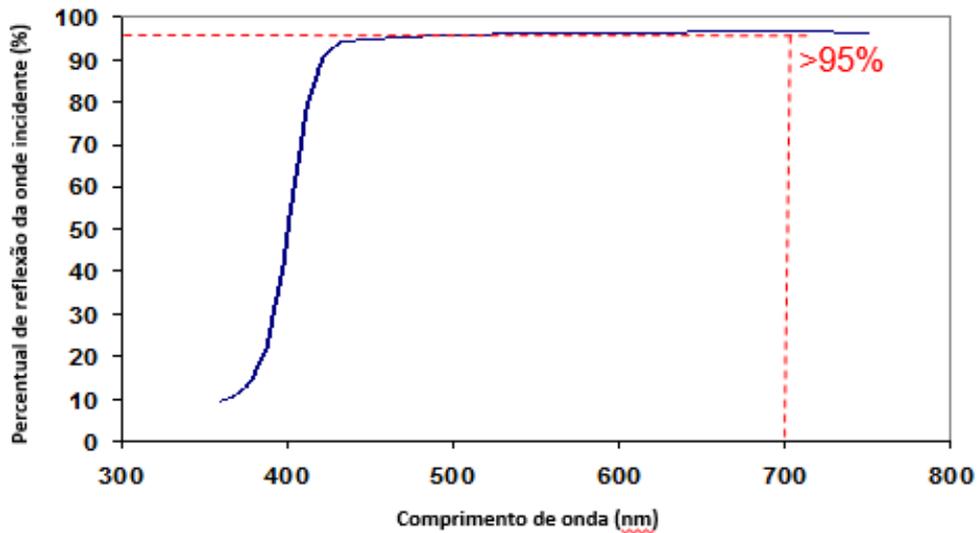


FIGURA 3- Comportamento do PC com TiO_2 à medida que aumenta o comprimento de onda da luz incidente.
 Fonte: Gráfico dados internos de materiais da Fiat *Chrysler Automobile* (2019)

O estudo das propriedades reflexivas do aditivo Dióxido de titânio (TiO_2) em Policarbonatos (PC) abriu caminho para a aplicação desse material, em componentes que visam alta reflexão de luz, sem a utilização de materiais metálicos no processo de fabricação, como por exemplo os refletores internos automotivos.

3.2. Processos de fabricação de luzes internas automotivos

Normalmente as luzes internas aplicadas no revestimento de teto automotivo são compostas principalmente de corpo, lente, refletor, circuito elétrico e fonte de luz. A FIG. 4 ilustra uma configuração básica da luz interna automotiva.



FIGURA 4- Composição básica de luz interna automotiva

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com exceção da fonte de luz, que são peças padronizadas como as lâmpadas, os principais processos de fabricação que se aplicam em lentes e refletores das luzes internas automotivas são: injeção plástica, revestimentos superficiais do tipo metalização e união das partes pelo processo de soldagem.

3.2.1. Processo e equipamentos de injeção plástica

Um equipamento comum de injeção em molde é ilustrado pela FIG. 5, nela são apontados os principais componentes da máquina.

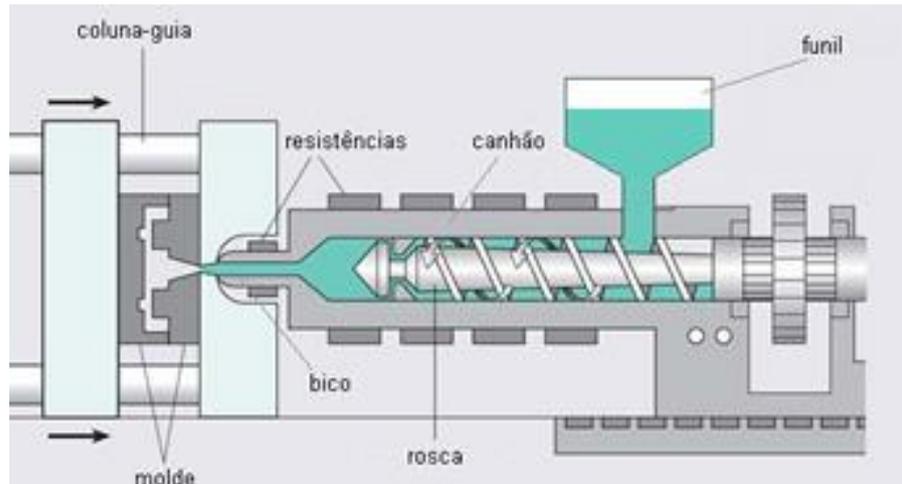


FIGURA 5- A máquina de injeção

Fonte: Adaptado de TIM, 2006.

O ciclo de injeção se divide basicamente em 4 fases: preenchimento, recalque, resfriamento e molde aberto (FERNANDES, 2011).

Fase de Preenchimento: O molde se fecha. O parafuso injetor se move a frente, empurrando o polímero fundido para dentro das cavidades do molde. Ao final desta fase, a cavidade está completamente preenchida, a máquina controla a velocidade de avanço do parafuso

Fase de Recalque: Nesta fase, o parafusoinjetor controla a pressão aplicada sobre o polímero fundido e não mais a velocidade de avanço do mesmo. A contração do termoplástico é compensada por mais material termoplástico que é forçado para dentro da cavidade até que a entrada de material solidifique, completamente.

Fase de Resfriamento: Com o molde a temperaturas bem abaixo do polímero fundido, o termoplástico é resfriado até à completa solidificação, momento em que o produto pode ser extraído. Durante esta fase, o parafuso plastificador gira, fundindo e transportando o polímero a frente do parafuso que, por sua vez, começa a recuar.

Fase de Molde Aberto: Após o completo retorno do parafuso e, vencido o tempo de resfriamento, o molde se abre e o produto é extraído, deixando a máquina pronta para o início do próximo ciclo.

3.2.2 Metalização de polímeros

Existe uma alta demanda para a produção de revestimentos superficiais metálicos em diversos setores industriais, desde simples operações, como revestimentos estéticos, até aplicações mais complexas. Os revestimentos de diversos tipos são frequentemente depositados em componentes mecânicos, para protegê-los contra ambientes hostis de alta temperatura, ou em

instrumentos como ferramentas de usinagem, de tal forma a aumentar seu desempenho e durabilidade (ZHANG et al., 2014 e NIGAM et al., 2016).

Processo de metalização de polímeros

Comparado a outros processos de acabamento superficial para fins reflexivos, o processo de metalização é o que apresenta melhor custo por peça. De acordo com (WEIDE, 2013) o processo se divide em 4 etapas, sendo: plasma; evaporação de Alumínio; aplicação do Protetivo e aplicação do Protetivo Silício.

Etapa de Plasma

Segundo Weide (2013), dá-se o nome de plasma ao processo de pré-tratamento da peça a ser metalizada. Consiste de um plasma de alta pressão e com uma tensão entre 2 a 2,5kV. O bombardeamento iônico tem como função principal remover vapor de água, remover pequenas impurezas da peça, além de criar pequenos pontos de ancoragem para a deposição da camada de alumínio.

Um dos processos inicia-se quando atinge uma pressão pré-determinada. Liga-se, então, um módulo de potência com tensão de entrada de 380 V e saída controlada por um sinal pré-definido entre 0 e 10 V. A saída do módulo é ligada na entrada de um transformador de 5kV e a saída do transformador passa por um retificador que alimenta um eletrodo dentro da câmara de vácuo. Este eletrodo é polarizado negativamente e a câmara de vácuo positiva é aterrada.

Weide (2013) afirma que:

Durante o processo injeta-se ar para manter a pressão estabilizada, a fim de que haja quantidade suficiente de gás para ser ionizado. A ionização do gás é resultante da aplicação de um campo elétrico entre um catodo (eletrodo central) e um anodo (carcaça da máquina, peças). São fontes de liberação de íons de Alumínio: a ionização do gás, o choque destes íons com o catodo (barra central) e o choque dos mesmos íons com o anodo (câmara, peças) (WEIDE,2013)

Weide (2013) constata que:

O choque entre íons e elétrons produz energia promovendo a limpeza das peças, criando pontos de ancoragem e principalmente removendo moléculas de vapor de água tanto as absorvidas quanto as adsorvidas aumentando a aderência (WEIDE,2013)

No caso do choque com o catodo central, partículas de alumínio do catodo são arrancadas e se fixarão nas peças aumentando assim os pontos de ancoragem.

Etapa de Evaporação de Alumínio

Weide (2013) diz que:

Neste processo ocorre a deposição de uma fina camada de alumínio, através da evaporação de pastilhas de alumínio colocadas em resistências de tungstênio. A saída do módulo alimenta o transformador variando, por consequência, sua tensão de saída (WEIDE, 2013).

Segundo Weide, (2013) os ajustes de tempo e potência dependem de vários fatores entre os quais podem-se citar:

- volume da câmara de vácuo;
- geometria das peças;
- condição de limpeza da máquina;
- dureza do alumínio;
- tipo de eletrodo;

Etapa de Aplicação do Protetivo

O objetivo deste processo é criar uma barreira protetora contra agentes químicos que possam reagir com a camada de alumínio causando, por exemplo, oxidação e deslocamento. O processo consiste em aplicar um filme fino e transparente de um monômero de silicone de baixa densidade sobre a camada de alumínio depositada pelo processo anterior. Um esquema do processo é ilustrado por Weide, (2013) na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

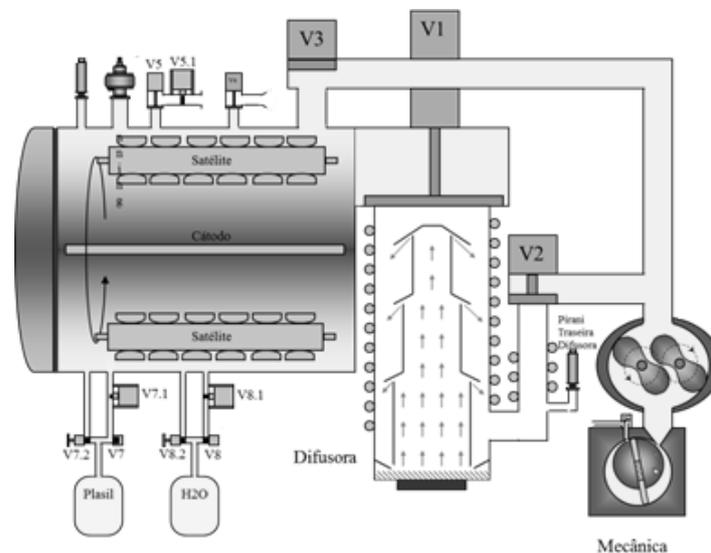


FIGURA 6- Fases do processo de evaporação do alumínio

Fonte: Adaptado de Weide, (2013).

O plasma tem como função promover a cura do polímero. A espessura da camada do polímero é uma função do tempo e do controle durante a aplicação e influência no nível de proteção alcançado. A qualidade da deposição de filme protetivo na peça é avaliada por meio de testes em câmara úmida.

Etapa de Aplicação do Protetivo Silício

A aplicação de um filme de Silício tem por objetivo proteger fisicamente a peça, pois, apesar de proteger a peça de interações químicas, o filme protetivo é de baixa dureza, riscando-se com relativa facilidade. Na prática, um filme de silício assemelha-se a uma camada de quartzo.

Weide, (2013) assegura que, o processo de aplicação de silício consiste em evaporar um composto de monóxido de silício em alto vácuo. Durante o processo, é injetada água desmineralizada para que esta reação gere uma nuvem de vapor de dióxido de silício que irá aderir à peça.

3.2.3. Processos de soldagem em polímeros

No mundo atual, comenta Modenesi (2000)

...mais de 50 diferentes processos de soldagem possuem alguma utilização industrial e a soldagem é imprescindível, é o mais importante método para a união permanente de metais. Tal importância fica evidenciada pela presença primordial de processos de união por soldagem, nas mais diversas atividades industriais e pela influência que a necessidade de uma boa soldabilidade tem no desenvolvimento de novos tipos de aços, ligas metálicas e diversos outros tipos de configurações de materiais de engenharia (MODENESI, 2000).

São definições do processo de soldagem, segundo Modenesi (2000):

- "Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas".
- "Operação que visa obter a coalescência localizada produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a aplicação de pressão e de metal de adição." (Definição adotada pela *American Welding Society - AWS*).
- "Processo de união de materiais baseado no estabelecimento, na região de contato entre os materiais sendo unidos, de forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais."

Dois métodos principais são utilizados na soldagem, dando origem a dois grandes grupos de soldagem. Soldagem por deformação (ou por pressão), que consiste em deformar as superfícies de contato permitindo a aproximação dos átomos, podendo haver aquecimento local para facilitar a deformação das peças; soldagem por fusão, em que ocorre a aplicação localizada de calor na região de união até sua fusão e possível uso de consumíveis, destruindo as superfícies de contato e promovendo a união pela solidificação do material fundido (MODENESI, 2000; KOŁTERNIAK, 2012).

Técnicas de Soldagem em Termoplásticos

O processo de soldagem pode produzir uniões em materiais termoplásticos conciliando eficiência e otimização de custos (GRIMM, 2014). Para produzir peças termoplásticas grandes ou complexas, o método mais eficiente em questão de custos envolve injetar duas ou mais peças separadamente e posteriormente uní-las. Em tais casos, o fabricante tem uma variedade de opções de junção, incluindo adesivos, fixação mecânica e junta por fusão ou soldagem.

Processos de fusão usados para unir termoplásticos e compósitos termoplásticos envolvem o aquecimento do polímero a um estágio viscoso, obrigando a entre difusão das cadeias poliméricas, geralmente aplicando pressão. O calor necessário para fundir o polímero pode ser introduzido por uma fonte externa, induzida em um elemento implantado ou gerada por fricção ou *histerese*. Em cada aplicação, o sucesso da técnica de união é afetado pela compatibilidade dos polímeros a serem unidos (GRIMM, 2014).

Segundo Patham (2011),

...operações de união podem ser usadas para construir componentes de geometria mais complexa de peças mais simples injetadas em molde. Os detalhes geométricos podem ser adicionados por nervuras estrategicamente posicionadas ou outros detalhes geométricos localizados nas peças injetadas. Entretanto, técnicas de união convencionais tais como a fixação mecânica ou a colagem, podem não ser otimizadas para montagens complexas (PATHAN,2011).

Fixação mecânica requer *flanges* adicionais para facilitar a inclusão de porcas e parafusos. Além disso, fixações mecânicas podem não ser suficientes quando a peça resultante tem como requisito armazenar e distribuir fluidos e gases. Nesse caso, o componente também deve ter como propriedade estanqueidade para conter os fluidos. A complexidade e o tamanho das partes a serem soldadas também podem ser um desafio para a aplicação robotizada de adesivos. Além disso, juntas coladas, contendo um material diferente dos materiais base, podem gerar pontos de menor resistência em condições extremas de utilização ou em cenários em que líquidos orgânicos ou ácidos estão envolvidos.

Em tais casos, a união física (ou soldagem) oferece como vantagens: a junta pode ser estabelecida na região de união (em contraste com a fixação mecânica); a junta é limitada apenas à área em que é requerida; uma boa resistência de solda pode ser obtida mesmo em áreas de solda estreitas; a junta é composta dos mesmos materiais das peças.

Todas as uniões físicas ou processos de soldagem para plásticos, tipicamente, envolvem os passos: acondicionamento das partes plásticas em garras; fornecimento de calor nas áreas a serem unidas promovendo fusão localizada; união sob pressão; resfriamento da solda e áreas adjacentes; remoção da peça final da ferramenta de solda. Ao término da operação de soldagem

de uma lanterna automotiva, o aspecto do cordão é, em geral, conforme ilustra na **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

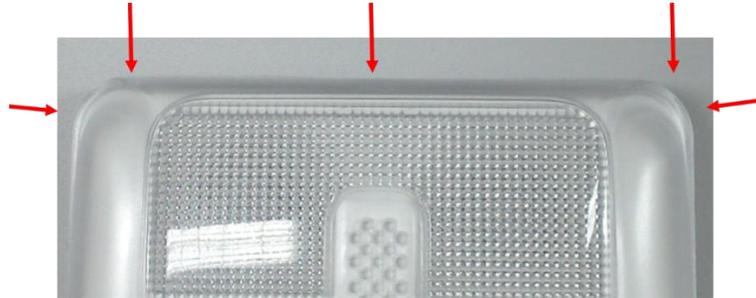


FIGURA 7- Aspecto final da solda em uma lanterna interna automotiva

Fonte: <https://a2mac1.com/>, 2019.

A

TABELA apresenta quais são os materiais mais comumente utilizados ou quais combinações se adaptam melhor para a soldagem por vibração. Combinações de materiais sem representação de símbolo não são soldáveis ou ainda devem ser testadas quanto à sua soldabilidade. (HELLA, 2013)

TABELA 3

Soldabilidade ente materiais termoplásticos

	PMMA	ABS	MABS	PC	SAN	ABS/P C	SB	PA	PP
PMMA	X	X	X	X	X	X			
ABS	X	X	X	O	O	X			
MABS	X	X	X	X	O	X			
PC	X	X	X	X		X			
SAN	X	O	O		X				
ABS/PC	X	X	X	X		X			
SB							X		
PA								X	
PP									O

Fonte: Adaptado de Hella, 2013.

Nota:Legenda: X = boa soldabilidade , O = soldabilidade condicionada e vazio = não soldável ou não avaliado

3.3 Luzes internas automotivas

A iluminação automotiva da parte interna do veículo é um sistema de grande importância no automóvel; possui funções de sinalização, conforto e segurança. Proporciona, além de segurança, conforto, e em alguns casos, estética diferenciada. Até a década de 60 os refletores automobilísticos eram metálicos, somente por volta dos anos de 1970 surgiram os primeiros refletores injetados de plástico, do tipo composto polimérico termofixo, composto para Moldagem a Massa (BMC), e que são utilizados até os dias atuais.

Esse processo trouxe um grande avanço para os refletores, pois possibilitou geometrias internas mais complexas e inovadoras. Outra vantagem foi com relação ao aumento de produtividade e

diminuição do peso nas peças. As FIG. 8 e 9 exemplificam a evolução da geometria dos refletores, entre os anos de 1960 a 1990, após a aplicação de Composto para Moldagem a Massa (BMC).

A utilização de plásticos para fabricação de refletores automobilísticos possibilitou formas mais complexas que puderam acompanhar o desenho do carro. Por causa da utilização de polímeros como matéria base de fabricação, os refletores necessitam de metalização para continuar a atingir os objetivos de reflexão de luz compatíveis com o metal.



FIGURA 8- Veículos que utilizam refletores metálicos típicos até a década de 60

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.



FIGURA 9 - Veículos que utilizam refletores de plástico na década de 90.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Atualmente as principais funções da iluminação interna dos veículos são cortesia do teto, leitura, portas, pés e porta copos. Para a iluminação interna não existe uma regulamentação legislativa na aplicação dos componentes, somente existe legislação para os itens de iluminação externa. Dependendo do fabricante ou mercado alvo, cada modelo de automóvel possui uma iluminação interior específica e validada pela montadora. A FIG. 10 ilustra uma configuração de parte dos componentes de iluminação interno, demonstrado as regiões em branco as regiões que são iluminadas.



FIGURA 10- Interior de um veículo ilustrando os componentes de iluminação

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Os processos de aprovação no desenvolvimento de luzes internas automotivas são específicos de cada montadora, trata-se de normas internas de validação, que orientam na aprovação do melhor conceito do componente para a aplicação. Entre as principais avaliações da norma interna utilizada pela montadora que colaborou com o trabalho, a Fiat Chrysler Automobile (FCA), destacam-se a avaliação da eficiência reflexiva e desempenho térmico.

3.3.1. Avaliação da eficiência reflexiva

Propriedade óptica refere-se à resposta do material à exposição à radiação eletromagnética e, em particular, à luz visível. Entre as propriedades mais importantes para a avaliação da intensidade luminosa destaca-se a reflexão e refração da luz (FARIA et al, 2009; CALLISTER et al, 2013).

O índice de refração n de um material é definido como a razão entre a velocidade no vácuo c e a velocidade no meio (CALLISTER et al, 2013). Ela refere-se aos ângulos de incidência e refração (índice de refração). Esse índice (n) é definido como a relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no material (v).

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{Eq (1)}$$

Quando a luz passa de um meio para outro, e parte da luz é espalhada na interface entre os dois meios, mesmo que ambos sejam transparentes, este é o conceito de reflexão. A FIG.11 exemplifica o conceito de refração (a) e reflexão da luz (b) respectivamente:

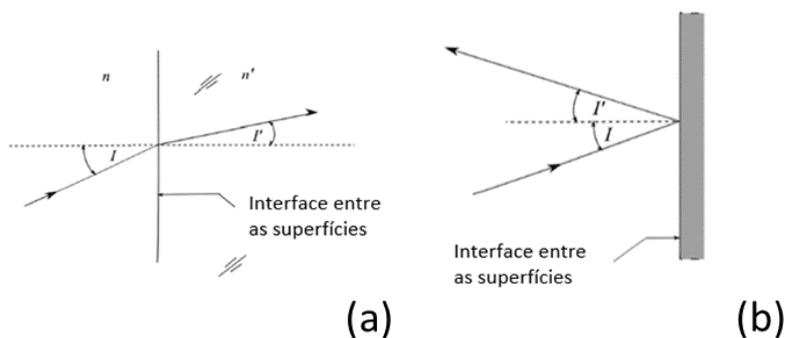


FIGURA 11- Princípio reflexão (a) e refração (b)
 Fonte: Adaptada de FOX, (2010).

Tratando-se do âmbito automotivo, a técnica de se avaliar a quantidade de luz existente no ambiente interno proveniente de fonte de luz como lâmpadas e diodo emissor de luz (LED) varia de cada montadora (FARIA et al, 2009), pois não é um componente legislativo no automóvel. Porém existem algumas normas como (NBR 5413, ISO 8995-1) que norteiam métodos/equipamentos de medição, regiões a serem medidas, de forma a orientar melhores eficiência para os componentes. A norma NBR 5413 recomenda valores médios de intensidade luminosa em (Lux), dependendo de cada tipo de atividade como descrito na TAB.4.

TABELA 4
 Intensidade luminosa por classe de tarefas visuais

Classe	Intensidade luminosa (Lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios

para área de trabalho	1000 - 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C	2000 - 3000 – 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	5000 - 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 – 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR 5413 (1992).

3.3.2 Avaliação do desempenho térmico por termografia Infravermelha

A termografia é um ensaio não destrutivo que permite mapear materiais, componentes, estruturas, organismo vivo, dentre outros elementos, com a finalidade de localizar possíveis variações de temperatura, que indiquem ou não, a presença de possíveis anomalias (SALES, 2011).

Segundo Barbosa (2018):

Recentes avanços tecnológicos disponibilizam equipamentos modernos para ensaios e diagnósticos sem contato. Por ser um ensaio seguro, rápido, preciso, com resposta imediata, sua aplicabilidade é ampla e sua popularidade cresce em todas as áreas do conhecimento (BARBOSA, 2018).

Contudo, o conhecimento das condições de trabalho deve servir de guia para o estabelecimento de critérios de qualidade e de funcionamento, uma vez que os resultados são, na maioria das vezes, de caráter qualitativo e com significado indireto (BARBOSA, *at.al.* 2018).

Os equipamentos de termografia são dotados de detectores de radiação, que captam a energia radiante na faixa do infravermelho e direcionam esse sinal para um amplificador onde é processado por um *software* que o converte em imagens térmicas ou termogramas. De modo geral, o sinal é decodificado e apresentado nos termogramas em uma graduação de cores, segundo os limites da escala de temperatura como ilustrado na FIG. 12. Diferentes informações podem ser trabalhadas a partir das imagens termográficas utilizando-se *softwares* específicos disponibilizados pelas empresas fabricantes do equipamento.

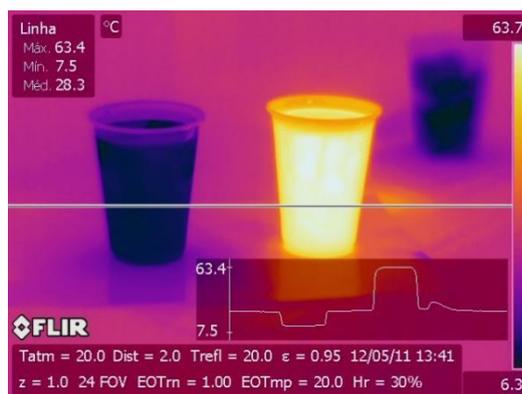


FIGURA 12- Termograma de dois recipientes contendo líquido frio e quente.

Fonte: imagem cedida por SALES (2019)

A aplicação do termograma é cada vez mais utilizada, pois fornece as distribuições de temperatura da superfície dos elementos de forma não invasiva, mesmo quando grandes gradientes de temperatura estão envolvidos (KORUKÇU *et al.*, 2009). O conhecimento e o domínio dessa técnica podem auxiliar nas avaliações do comportamento de diferentes materiais, levando-se em consideração as propriedades individuais de cada um e os objetivos da pesquisa. Além de possibilitar seu uso *in loco*, a velocidade de execução, os custos e a ausência de danos, permitem que os ensaios termográficos sejam realizados repetidas vezes, possibilitando investigação mais abrangente e acompanhamento sistemático do elemento em estudo.

Na termografia, a captação da radiação térmica é obtida a partir da estimulação que promove o aquecimento ou resfriamento do objeto/material. Dependendo da forma como é feita essa estimulação, os sistemas que utilizam sensores térmicos são classificados em passivos e ativos (PEDRA, 2013).

Nos sistemas passivos nenhuma estimulação artificial é utilizada, devendo existir apenas uma diferença natural de temperatura entre o objeto em estudo e o meio no qual ele está inserido. Em geral, sua aplicação se dá em análise qualitativa e os resultados estão sujeitos à experiência do avaliador.

Nos sistemas ativos um estímulo externo é necessário para gerar diferenças de temperatura, nesses casos, diferentes técnicas de estimulação podem ser empregadas.

A técnica de termografia pode ser dividida em três categorias: termografia qualitativa, quantitativa e analítica. Segundo Verati, (2011), na termografia qualitativa, as informações provêm da análise de diferenças nos padrões de distribuição térmica. Na análise quantitativa as informações derivam da medição direta das temperaturas associadas a padrões de distribuição

térmica observados. A termografia analítica dedica-se à otimização de métodos de trabalho em inspeções, tratamento estatístico e tradução de dados térmicos em termos econômicos e aumento de qualidade.

Para o estudo dos materiais, de modo geral, a termografia tem sido utilizada para detectar defeitos internos ou avaliar o desempenho térmico do elemento em estudo. Trabalhos de literatura mostram que é possível detectar defeitos incorporados a corpos de prova de concreto expostos ao sol e à baixa temperatura, afirmando seu potencial para estudo da deterioração de concretos.

Sales, *et al.* (2010). Wiggenhauser, (2002) e Barbosa, *et al.* (2018) apresentam trabalhos onde a termografia foi usada para analisar blocos cerâmicos. Trabalho de Sales *et al.* (2015) mostra que a termografia foi eficiente para detectar diferenças no comportamento térmico de pó de vidros expostos ao sol. Alvarenga *et al.* (2019) estudaram com sucesso a difusividade térmica de argamassas com, e sem uso de micropartículas de vidro em substituição ao cimento, utilizando termografia.

Basheer, Krishnamurthy e Balasubramaniam, (2017), utilizaram a termografia para determinar a difusividade e caracterizar materiais anisotrópicos com base nas propriedades térmicas desses materiais. Cifuentes, Mendioroz e Salazar, (2017) realizaram simultaneamente a medição da difusividade e da condutividade térmica de materiais, utilizando uma haste aquecida para introduzir um contraste térmico no material e avaliar o outro lado da amostra, utilizando uma câmera termográfica.

Katrien *et al.* (2017) avaliaram o desempenho térmico de vidros de fachadas de edifícios, utilizando simulação matemática e termografia. A termografia associada ao estudo de polímeros usualmente trata do controle do processo e do seu desempenho mecânico, os autores avaliam o comportamento térmico dos materiais durante ensaios mecânicos como de tração e impacto (CHRYSOCHOOS, 2012; GHORBEL, *et al.*, 2014; VILLAR, *et al.*, 2018)

Os estudos envolvendo veículos automotivos, as pesquisas com termografia, privilegiam o gerenciamento do conforto térmico dos ocupantes. Diferentes autores apresentam suas pesquisas, onde foram avaliados tanto a temperatura de materiais, quanto os parâmetros de conforto térmico no interior de veículos (KORUKÇU e KILIC, 2009; ALAHMER, ABDELHAMID e OMAR, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da aplicação de dióxido de titânio (TiO_2) como aditivo ao Policarbonato (PC) foi de caráter experimental e buscou a caracterização dos materiais por difratometria de raios X (DRX), espectroscopia da região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e termogravimétrica (TGA), a modificação na fabricação no que diz respeito à resistência da solda e investigar o desempenho na eficiência reflexiva, no envelhecimento acelerado e na resistência térmica por termografia infravermelha. As etapas do trabalho experimental estão discriminadas no organograma da FIG. 13.

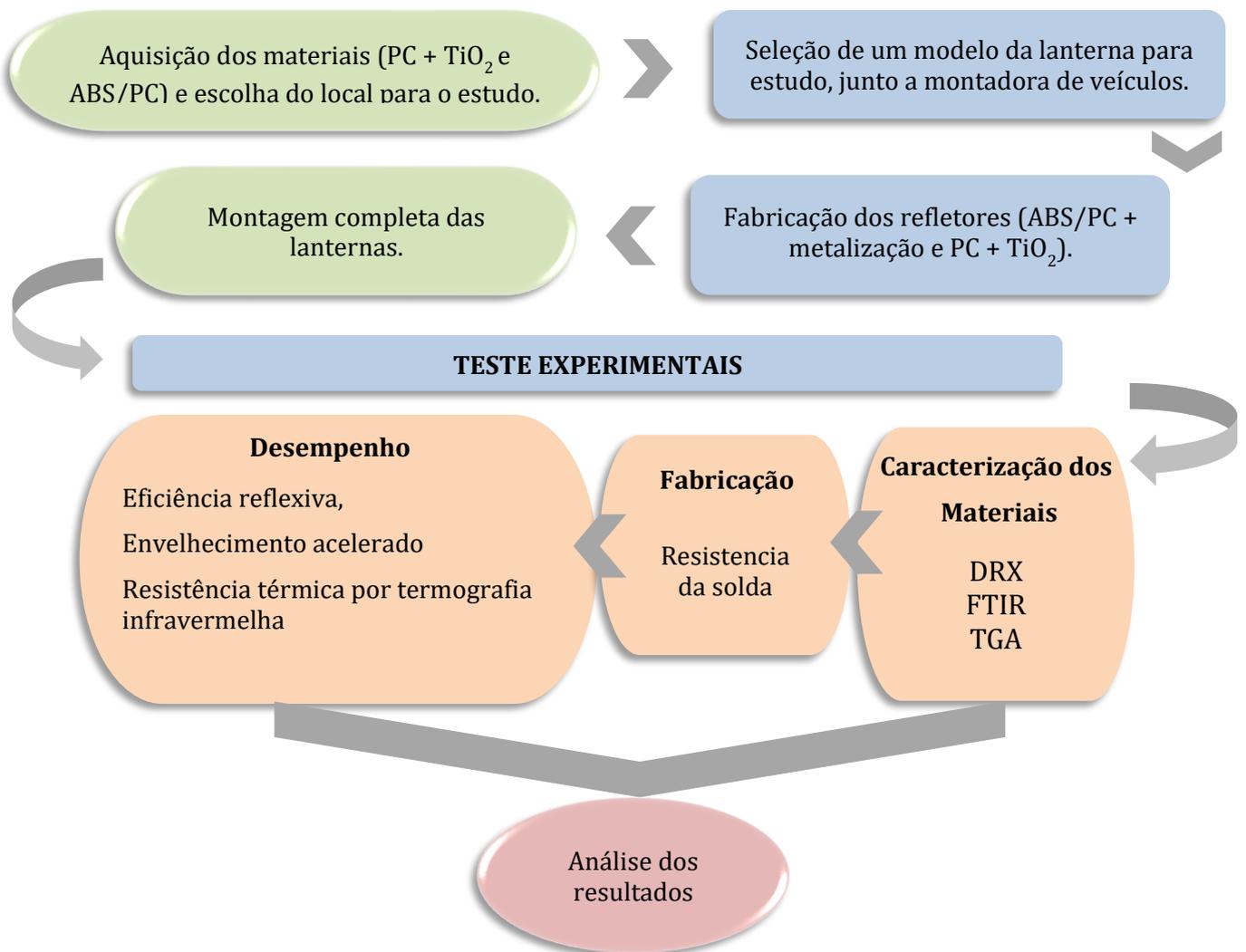


FIGURA 13- Etapas do trabalho experimental

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

4.1 Materiais

As matérias primas utilizadas para fabricação dos refletores e realização dos ensaios de caracterização foram: blenda de 30% em massa de Policarbonato (PC) e 70% em massa de Acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), e polímero de 90% em massa de Policarbonato (PC) com adição de 10% em massa de TiO₂. Estes materiais foram adquiridos na SABIC - *Innovative Plastics South America* – Indústria e Comércio de Plásticos Ltda. Na TAB. 5 estão disponíveis os valores de propriedades físicas, mecânicas e térmicas típicas dos materiais utilizados no trabalho para fabricação do refletor.

TABELA 5
Parâmetros típicos dos materiais ABS/PC e PC/TiO₂

Propriedade	ABS/PC	PC/TiO ₂
Densidade	1.15g/cm ³ (ISO 1183)	1.31g/cm ³ (ISO 1183)
Resistência à tração (na ruptura)	580 kgf/cm ² (ASTM D 638)	610 kgf/cm ² (ASTM D 638)
Alongamento (na ruptura)	150% (ASTM D 638)	120%(ASTM D 638)
Módulo de elasticidade	23200 kgf/cm ² (ASTM D 638)	27200 kgf/cm ² (ASTM D 638)
Resistência à flexão	890 kgf/cm ² (ASTM D 790)	990 kgf/cm ² (ASTM D 790)
Resistência ao impacto (Izod)	66 cm-kgf/cm (ASTM D 256)	59 cm-kgf/cm (ASTM D 256)
Temperatura de Vicat	132 °C (ISO 306)	140 °C (ISO 306)

Fonte: Dados fornecidos pela SABIC (2019)

Os demais materiais utilizados para a montagem completa da lanterna de aplicação interna do automóvel foram disponibilizados pela Indústria Olsa do Brasil, empresa que desenvolve e produz sistemas de iluminação para o setor automobilístico.

4.2 Métodos

O método utilizado contemplou as fases de trabalho descritas no fluxograma, ou seja, seleção do modelo da lanterna para fabricação das amostras de ABS/PC com metalização, fabricação das amostras dos refletores com PC, e adição de TiO₂, caracterização dos materiais, teste de resistência da solda e por último os testes experimentais de eficiência reflexiva, envelhecimento acelerado e termografia infravermelha.

A estrutura para realização das etapas dessa pesquisa, tais como: câmara climática, câmara escura, luxímetro, câmera termográfica, compressor, equipamentos para injeção dos materiais, molde, máquina de metalização, equipamento de solda, equipamentos de testes, foram disponibilizados pela montadora de veículos automotivos *Fiat Chrysler Automobile* (FCA), assim como as especificações técnicas e os parâmetros para fabricação das amostras. A câmara

climática para envelhecimento e o equipamento de FTIR foram utilizados na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

4.2.1 Seleção e fabricação da lanterna

A escolha do modelo do refletor em estudo se deu de comum acordo com a montadora Fiat. Definiu-se por uma lanterna de iluminação interna do teto da cabine de um dos veículos em produção¹. Tal escolha teve o intuito de facilitar a fabricação das amostras, uma vez que poderia ser utilizadoS os moldes existentes, os padrões e normalizações adotados pela própria montadora.

As amostras foram fabricadas pela Indústria Olsa do Brasil, empresa que desenvolve e produz sistemas de iluminação para o setor automobilístico. Os parâmetros para produção das lanternas seguiram o processo de moldagem por injeção convencional, conforme normas e padrões de conformidade estabelecidos pela *Fiat Chrysler Automobile*. Utilizou-se uma injetora Romi PRIMAX 150R, com capacidade de 286 cm³ e 150 toneladas de força de fechamento e um molde de aço. A FIG. 14 mostra (a) o projeto em 3D da lanterna escolhida e (b) o corte longitudinal com o posicionamento das lâmpadas.

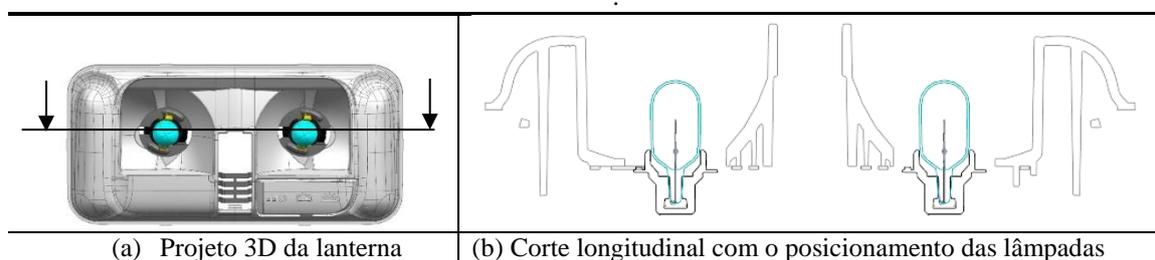


FIGURA 14- Desenho esquemático e corte da lanterna sem a lente.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Para o processo de fabricação, foram utilizados valores de temperatura, tempos de injeção, preenchimento do molde, força de injeção, pressão de enchimento e secagem da peça, muito próximos para os dois materiais (TAB. 6), o que contribuiu para diminuir a complexidade na configuração dos parâmetros durante o processo de injeção.

¹ A montadora Fiat *Chrysler Automobile* solicitou sigilo quanto ao modelo do veículo.

TABELA 6
Parâmetros técnicos para injeção dos materiais

Parâmetros de processamento de injeção de molde	ABS/PC	PC/TiO ₂
	Valores Típicos (°C)	
Temperatura de secagem	90 - 100	100
Máximo percentual de umidade	0,02	0,02
Temperatura de fusão	250 - 280	280 - 305
Temperatura do bico de injeção	230 - 270	275 - 300
Frontal - Temperatura da Zona 3	240 - 270	280 - 305
Meio - Temperatura da Zona 2	230 - 270	270 - 295
Posterior - Temperatura da Zona 1	210 - 240	260 - 280
Temperatura do funil	60 - 80	70 - 85
Temperatura do molde	60 - 90	70 - 95
Tempo de secagem (horas)	2 - 4	3 - 4

Fonte: Dados fornecidos pela SABIC (2019)

A TAB.7 apresenta as temperaturas de fusão dos 3 materiais envolvidos, que tiveram como referência os valores de fusão dos testes *Vicat* (temperatura de amolecimento) de cada material: ABS/PC, PC com adição de TiO₂ e PMMA que é a matéria prima de fabricação da lente (valores disponibilizados pelo fornecedor da matéria prima).

TABELA 7
Dados técnicos do teste de *Vicat*

Componente	Material	Temperatura (°C)
Corpo metalizado	ABS/PC com metalização	132
Corpo sem metalização	PC/TiO ₂	140
Lente	PMMA	115

Fonte: Informações fornecida pela SABIC (2019)

A FIG.15 mostra o molde em aço onde foram fabricados os refletores da lanterna.



FIGURA 15- Molde utilizado para injeção plástica do refletor.

Fonte: Imagem fornecida pela Indústria Olsa do Brasil (2019)

Metalização dos refletores:

Os processos de metalização nos refletores foram realizados apenas nas amostras fabricadas com ABS/PC. Utilizou-se o equipamento de metalização da empresa que fornece as peças para a montadora Indústria Olsa do Brasil. Após o processo de metalização a peça foi inspecionada (como é usual neste processo) em bancada de teste com iluminação apropriada para verificar se a metalização foi adequada. Isso porque, devido a sua geometria complexa, durante a metalização, pode ocorrer falhas em determinadas regiões que venham a comprometer o percentual ideal de reflexão de luz, sendo, portanto, necessária uma atenção maior durante a inspeção conforme mostrado na FIG.16

**Falha na
metalização**

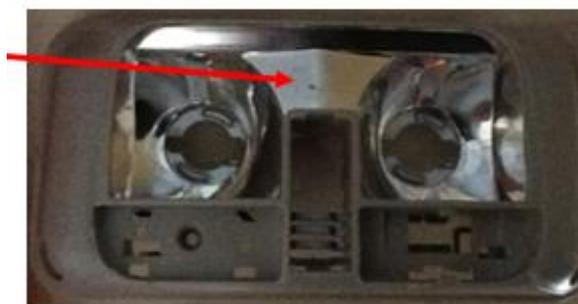


Figura 16: Ilustração de falha na metalização na peça ABS/PC
Fonte: Elaborado pela autora

Lentes da lanterna:

As lentes são fabricadas com Polimetilmetacrilato (PMMA), que apresenta boa transparência cristalina e alta resistência mecânica (LYU *et al.*, 2015). Para as amostras do trabalho foram utilizados os mesmos materiais da lente já utilizado atualmente FIG. 17.



FIGURA 17- Ilustração da lente em PMMA
Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Soldagem dos componentes da lanterna:

Para montagem final da lanterna foi necessário unir os vários componentes da lanterna, ou seja, refletor, fonte de luz, duas lâmpadas de potência 5W, circuito metálico e lente, conforme

mostrado na FIG. 18. O processo foi realizado para os dois tipos de materiais, ou seja, uma lente para o refletor fabricado com ABS/PC e uma lente para o refletor fabricado em PC com adição de TiO_2 .

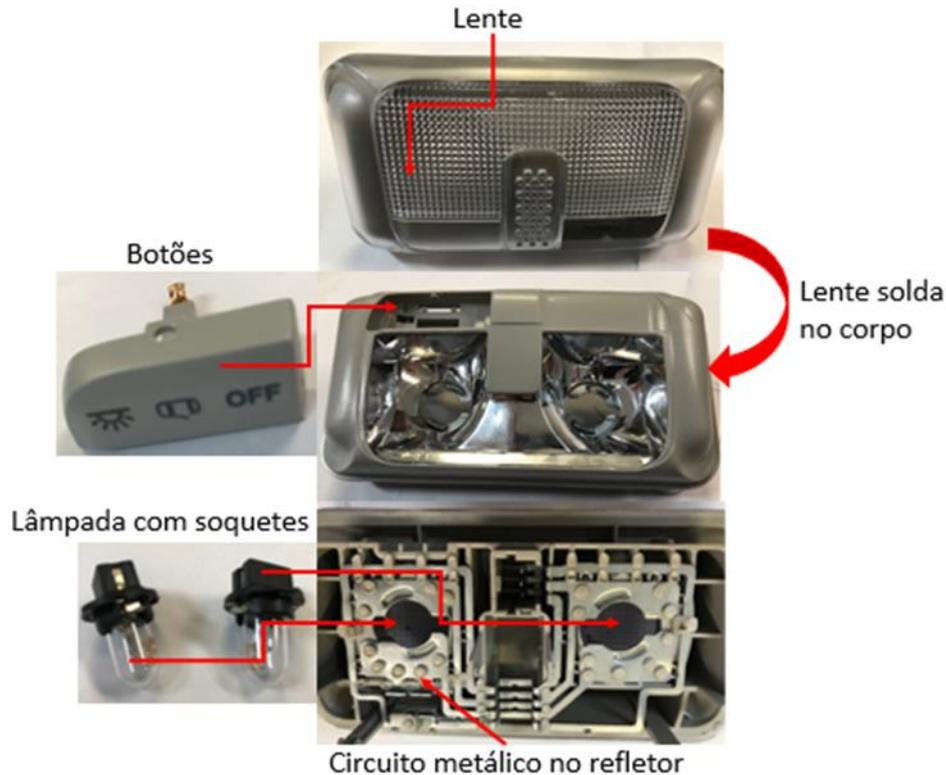


FIGURA 18- Esquema de montagem da peça
Fonte: Elaborado pela autora, 2019

O processo final de união do refletor com a lente fez-se por vibração, proporcionando o acabamento frontal da lanterna. Na sequência, as amostras foram levadas para o setor de experimentação da *Fiat Chrysler Automobile* onde fizeram-se os testes de resistência da solda e termografia infravermelha. As amostras finais (FIG. 19) foram instaladas no interior do veículo no revestimento interno do teto do veículo para realização dos testes de intensidade luminosa.



FIGURA 19- Amostra final dos refletores montados com a lente de PMMA

4.2.2 Testes experimentais

4.2.2.1 Caracterização dos materiais

Para caracterizar os materiais poliméricos estudados (ABS/PC e PC/TiO₂), utilizaram-se as técnicas de difração de raio X (DRX), a espectroscopia na região do Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e termogravimetria (TGA) nas mesmas condições e equipamentos para ambos os materiais. A identificação dos equipamentos e seus respectivos parâmetros são descritos a seguir.

4.2.2.1.1 Difração de raio X

A difratometria de raios X foi utilizado para identificar fases cristalinas presentes nos materiais poliméricos estudados (placas injetadas de ABS/PC e PC/TiO₂), através de picos gerados na difração dos raios produzidos pelos átomos característicos do material. Realizou-se o equipamento marca Philips-Panalytical, modelo PW 1710, com tubo de raios X: Radiação Cu (Cobre) transição K α ($\lambda=1.5406\text{\AA}$), onde o equipamento está ilustrado na FIG. 20, os testes foram feitos no laboratório de materiais da Universidade Federal de Minas Gerais.



FIGURA 20- Difratorômetro de raios x Philips-Panalytical PW 1710

4.2.2.1.2 A espectroscopia na região do Infravermelho com transformada de Fourier

A espectroscopia dos materiais poliméricos estudados (placas injetadas de ABS/PC e PC/TiO₂) realizou-se no equipamento marca Thermo Fischer, modelo Nicolet 6700, com Reflectância Atenuada (ATR), resolução 2 cm⁻¹, faixa: 4000 a 675 cm⁻¹, modo de absorbância, onde o equipamento está ilustrado na FIG. 21, os testes foram feitos no laboratório de materiais da Universidade Federal de Minas Gerais.



FIGURA 21- Espectrômetro de infravermelho Nicolet 6700 (Thermo Fischer)

4.2.2.1.3 Análise Termogravimétrica

As análises termogravimétricas (TGA) realizaram-se em equipamento da marca SDT TA Instrumento modelo Q600 (FIG. 22) para verificação da estabilidade térmica dos materiais avaliados (pó de material injetado de ABS/PC e PC/TiO₂). Os ensaios foram realizados em um intervalo de temperatura de 40°C a 800°C, com taxa de aquecimento de 20 °C/mim em uma superfície inerte com dióxido de nitrogênio (N₂). Para as análises termogravimétricas utilizou-se, aproximadamente, 10 mg de cada amostra.



FIGURA 22- Equipamento de termogravimetria SDT TA Instrumento modelo Q600

4.2.2.2 Teste de resistência da solda

Para avaliar a resistência da solda, adotou-se o teste de pressão; segundo Patham, (2011) a solda da lanterna apresenta uma resistência mecânica menor que a resistência dos materiais soldados, sendo a região mais frágil aquela que primeiro se romper sob pressão determinada. Utilizou-se um compressor para inserir ar no interior da lanterna, foi utilizado o equipamento da marca ATEQ, modelo série 5 F420 (FIG. 23). O teste consiste em aplicar uma pressão uniforme na lanterna interna, até que algum ponto se rompa, dessa forma é possível avaliar o comportamento

da resistência da solda. Para o teste foram preparadas cinco amostras de cada material ABS/PC com Metalização e PC com adição de TiO_2 .



FIGURA 23- Compressor ATEQ modelo série 5 F420

A vedação dos orifícios das amostras fez-se com massa de vedação, marca 3M e modelo *Martic* 7662, do tipo a evitar vazamento de ar, restando apenas um único orifício onde é injetada a pressão. Em um dos orifícios acoplou-se um tubo plástico para ligar a amostra ao compressor. Para segurança dos operadores, o teste é realizado com a amostra imersa em um tanque contendo água, conforme mostra a FIG. 24. Realizaram-se testes preliminares para avaliar a eficiência das vedações, aplicando uma pressão de 50mbar para detectar possíveis vazamentos.



FIGURA 24- Montagem do teste de resistência da soldagem em tanque com água.

Constatando-se a integridade das amostras, iniciam-se os testes. O ar se introduz sob pressão no interior da amostra e faz-se o monitoramento da pressão no monitor do compressor até o momento em que acontece a ruptura da solda onde se registra tal valor. É importante ressaltar que este teste não visa simular condições de funcionamento em campo, mas sim, avaliar o momento e o valor de pressão da ruptura da solda.

Após a obtenção destes valores, utilizou-se a ferramenta estatística de comparação de amostras de peças pelo teste *t* de *Student*. Este teste permite comparar duas amostras independentes e estimar o valor de desvio padrão populacional por meio do desvio padrão amostral.

4.2.2.3 Teste de eficiência reflexiva

Para o teste de eficiência reflexiva, utilizou-se um *Luxímetro* modelo *CL-200* e marca *Konica Minolta* **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O teste consiste basicamente em se avaliar a intensidade de luz pela medição da luminosidade das peças, o equipamento registra os valores em *Lux* (*lx*) em região predefinida por normas técnicas utilizada pela montadora.



FIGURA 25- Luxímetro CL-200, marca Konica Minolta

Utilizou-se a norma interna de “Validação de Componentes de Iluminação” da montadora *Fiat Chrysler Automobile*, onde são reunidos dados das normas (NBR 5413 e ISO 8995-1) de “Validação de Ambientes de Iluminação Interna”. A TAB. 8 mostra os valores em *Lux* de cada região do veículo a ser medido. Posteriormente os valores lidos pelo equipamento são comparados com os valores da norma interna. A classe utilizada neste estudo foi a C, relativo ao componente de iluminação interna localizado na parte frontal do revestimento de teto do veículo.

TABELA 8

Valores de luminosidade em *Lux* (*lx*) estabelecidos pela norma interna da montadora

Características	Condições de teste	Requisitos				
No interior do veículo	Classe A	Porta malas	Ponto de medição no interior do veículo	2-4-5-6-8	> 4 < 10 Lux	
		Porta luvas		1-3-7-9	> 2 < 10 Lux	
		Parassol		1-2-3-4	> 3 < 8 Lux	
		Tapete		1		
	Classe B	Região traseira		1-2-3	2-3-4-5-6	> 8 < 15 Lux
					1-7	> 4 < 15 Lux
	Classe C	Região dianteira			2-3-4-6-7-8	> 15 < 40 Lux
					1-5-9	> 4 < 40 Lux

Os testes foram realizados na montadora em um dos veículos disponibilizados pela empresa; utilizou-se uma câmara escura para eliminar qualquer interferência luminosa externa. A FIG. 26 mostra as regiões do interior do veículo onde foi medida a luminosidade de cada ponto, ou seja, os valores localizados: na lateral da porta do passageiro (ponto 5 e 9), no banco anterior (pontos 2, 3, 4 e 6, 7, 8), no console central (Ponto 1).

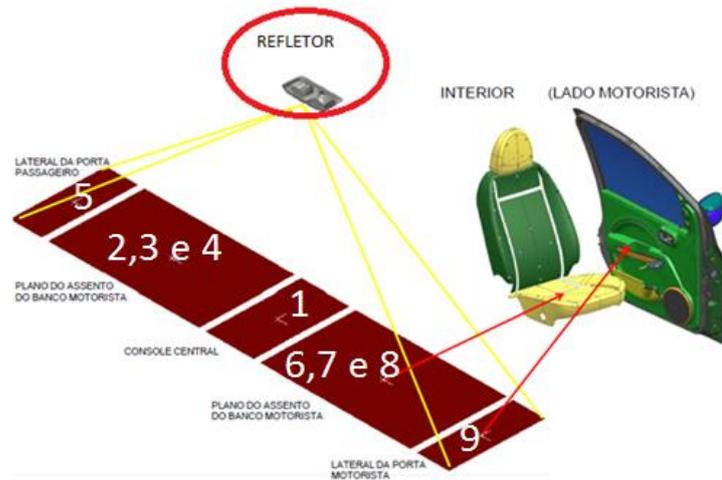


FIGURA 26- Pontos da região frontal do veículo onde foi medida a luminosidade da peça

4.2.2.4 Teste de envelhecimento acelerado

Para o teste de envelhecimento acelerado utilizou-se câmara climática da marca Fanem ,modelo 345 (FIG. 27), com temperatura de 60°C e umidade relativa de 57% por 14 dias (336 horas).O corpo (refletor) nas duas condições estudadas (ABS/PC e PC/TiO₂) foram submetidos à condição de envelhecimento.

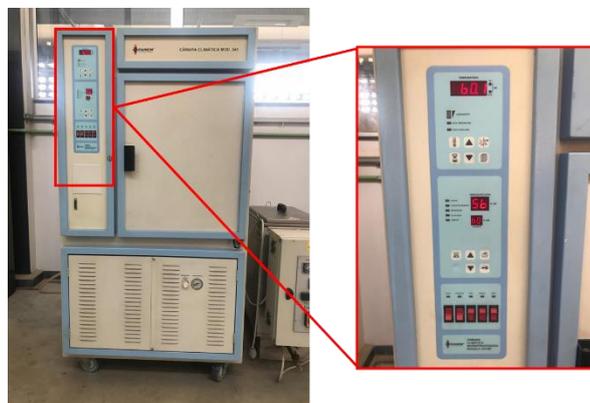


FIGURA 27 – Câmara climática da marca Fanem e modelo 345

4.2.2.5 Teste com termografia infravermelha

Para os testes de termografia infravermelha utilizou-se um equipamento da marca FLIR, modelo ThermaCAM T-420 (FIG. 28) e seguiu-se o protocolo elaborado especialmente para os testes desta pesquisa.



FIGURA 28- FLIR modelo ThermaCAM T-420

Protocolo para o teste termográfico: as medições de temperatura foram realizadas em ambiente controlado. Utilizou-se uma câmara climática modelo N480D da marca Fuji (FIG. 29) onde a temperatura permaneceu em 60°C com margem de erro de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Seguiram-se as especificações da norma interna da montadora “Teste de Iluminação Interna” onde todo componente de iluminação deve resistir a um ciclo térmico (da lanterna acesa) durante um período determinado de 60 minutos.



FIGURA 29- Câmara climática onde foi realizado o teste a 60°C $\pm 2^{\circ}\text{C}$

As lanternas foram posicionadas no interior da câmara climática contendo duas lâmpadas de potência 5W e foram ligadas à corrente elétrica de 12V, permanecendo em funcionamento por 60 minutos simulando a tensão operacional do veículo. Decorrido os 60 minutos tanto a câmara quanto a lanterna foram desligadas para realização das medições termográficas. O equipamento

de termografia foi posicionado a um metro de distância das lanternas conforme mostrado na FIG.30. As medições foram tomadas para as duas situações: corpo do refletor de ABS/PC com metalização, corpo do refletor de PC com adição de TiO₂ com e sem as lentes de PMMA.



FIGURA 30- Esquema de montagem do equipamento de termografia e da câmara climática

O procedimento experimental foi realizado para cada uma das lanternas. As imagens termográficas armazenadas na câmera foram posteriormente transferidas para um computador e analisados pelo *software FLIR Quick Report 1.2*. Os valores das temperaturas foram processados e tabulados na forma de gráficos e tabelas do *Excel*. Considerou-se a incerteza da câmera termográfica de $\pm 2\%$ das leituras. A câmara termográfica foi regulada utilizando-se como parâmetros os recomendados pelo fabricante e temperatura refletida de 20°C, temperatura atmosférica de 20°C, umidade relativa do ar de 50% e emissividade em 0,95. Também se utilizou como referência a escala de cores do lado direito do termograma para as análises qualitativas da imagem a fim de estimar as diferentes temperaturas das superfícies da lanternas.

O *software Quick Report*, por sua vez, possibilitou selecionar uma área de interesse para determinar, com a ferramenta ponto, um *pixel*, que representasse o valor da temperatura para uma determinada área. Definiu-se por realizar as análises primeiramente em 3 pontos estrategicamente selecionados na peça e que representasse as temperaturas mais próximas da lâmpada (estrela vermelha) contemplando a área de interesse: um ponto na região esquerda, um ponto central, um ponto na região direita da lanterna, conforme mostrado na FIG 31.

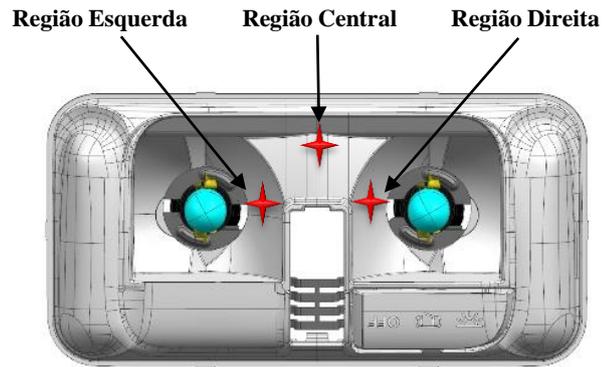


FIGURA 31- Esquema de leitura pontos na região esquerda, região central e região direita

Para uma análise mais apurada desses pontos de leitura da temperatura, estes valores foram comparados com os valores de temperatura de amolecimento do material apontados pelo teste *Vicat*.

A partir desses resultados foi possível estabelecer critérios mais precisos para as análises das temperaturas utilizando o *software Quick Report* que permite traçar linhas de perfis. Em todas as imagens identificaram-se duas regiões distintas L-01 e L-02 traçadas diretamente no termograma (FIG. 32). Uma região que não sofre interferência direta do calor das lâmpadas L-01 e outra onde a linha de perfil passa pelas duas lâmpadas L-02.

Ao longo dessas linhas identificaram-se temperaturas ao longo da lanterna (136,7 mm de comprimento 70,7 mm largura e 48,1 mm de altura) ou seja, região de maior temperatura. Assim, as coordenadas dos pontos encontrados em cada uma das linhas de perfil foram transportadas para o Excel e apresentadas em forma gráfica.

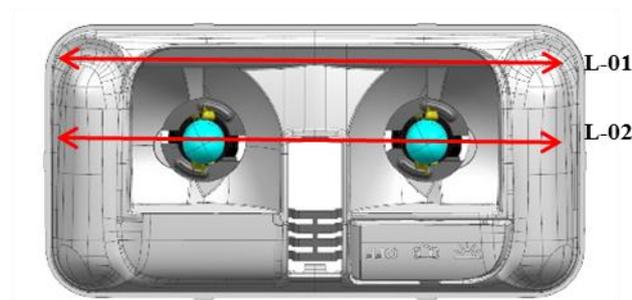


FIGURA 32: Esquema de leitura mostrando as linhas de perfil L-01 e L-02

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão serão apresentados na mesma sequência em que foram descritos os testes experimentais. Primeiramente os resultados da caracterização dos materiais por FTIR e TGA, avaliação da resistência da solda, seguido das análises estatísticas e resultado visual, teste da eficiência reflexiva, envelhecimento acelerado e por último os resultados da análise termográfica infravermelha.

5.1 Caracterização dos materiais

A seguir apresentam-se os resultados e sua respectiva discussão das análises difração de raio X (DRX), espectroscopia na região do Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e Análise Termogravimétrica (TGA).

5.1.1 Difração de raio X

A utilização da técnica de caracterização por difratometria de raio X teve como objetivo identificar picos cristalinos característicos dos materiais utilizados ABS/PC e PC/TiO₂. A FIG.33 apresenta o gráfico resultante do DRX do material ABS/PC e a FIG.34 do material PC/TiO₂.

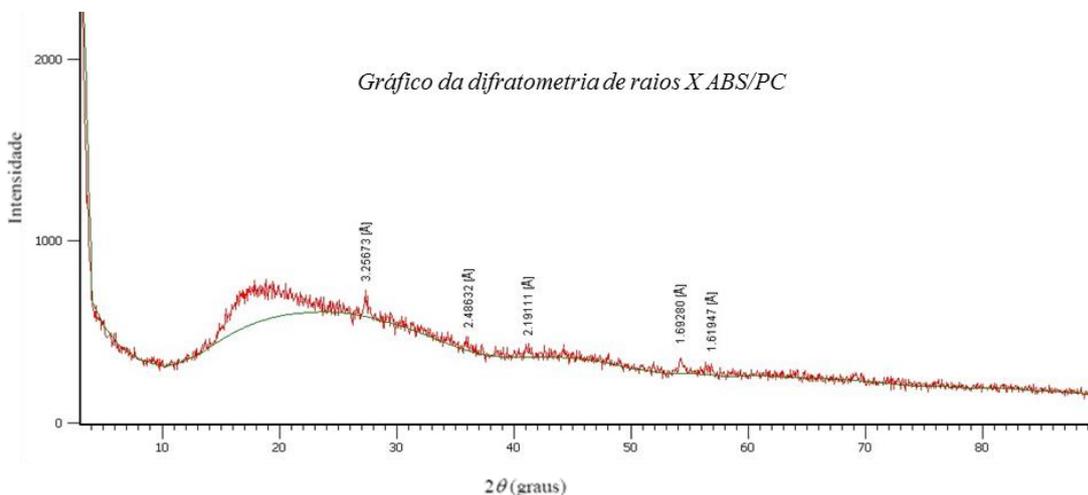


FIGURA 33- Resultados da difratometria de raio X do ABS/PC

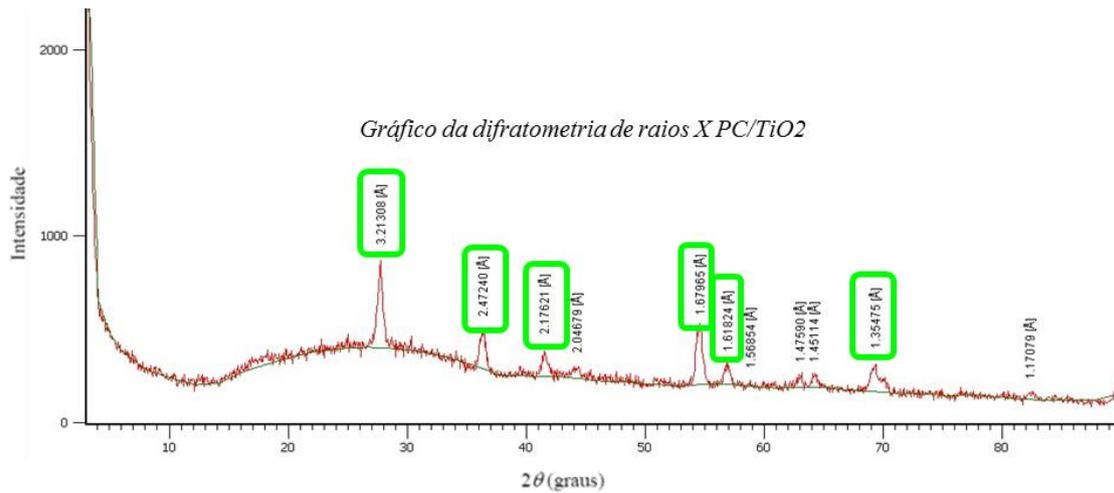


FIGURA 34- Resultados da difratometria de raio X do PC/TiO₂.

Constata-se no resultado no gráfico de DRX do PC/TiO₂ diversos picos característicos típicos da fase cristalina do TiO₂. Já o resultado do material ABS/PC, devido à ausência de picos, reforça a característica amorfa dos polímeros.

5.1.2 A espectroscopia na região do Infravermelho com transformada de Fourier

A utilização da técnica de caracterização via FTIR objetivou apontar a existência de componentes característicos dos materiais utilizados ABS/PC e PC/TiO₂. A FIG.35 apresenta os principais picos utilizados como parâmetro de análise do material ABS/PC e a FIG.36 do material PC/TiO₂.

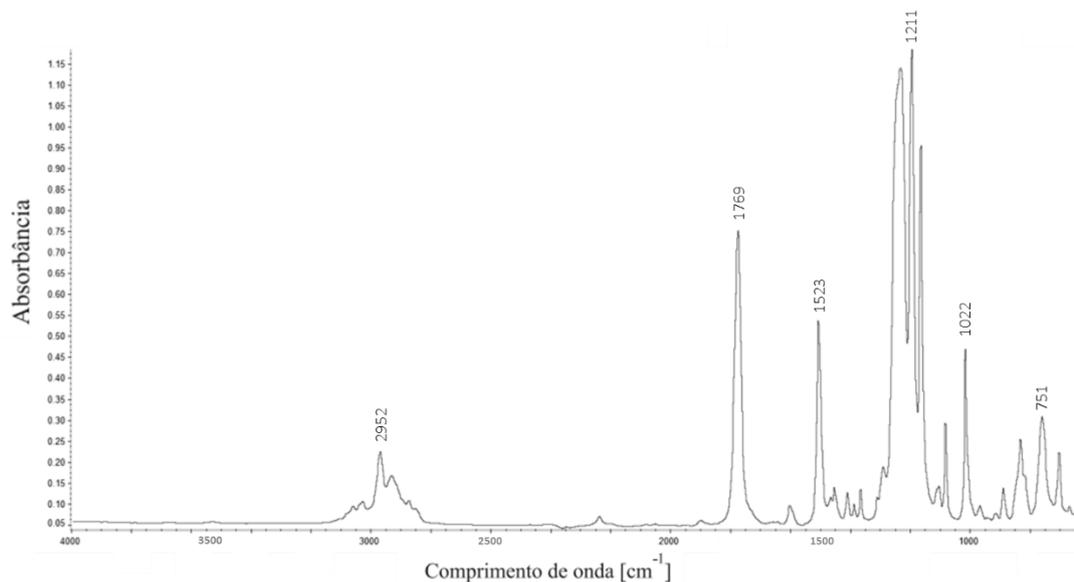


FIGURA 35- Resultados da espectroscopia por infravermelho ABS/PC

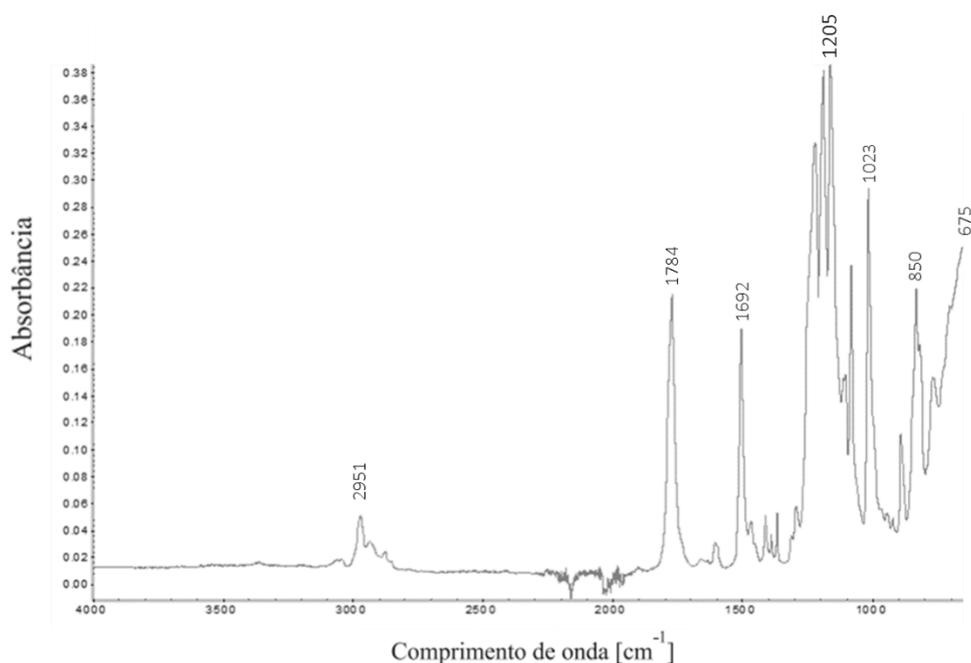


FIGURA 36- Resultados da espectroscopia por infravermelho PC/TiO₂.

Os materiais ABS/PC e PC/TiO₂ caracterizaram-se por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier sendo feita a atribuição das bandas em comparação aos valores das frequências características para os grupos existentes nos materiais de acordo com a literatura (MONTAUDO, 2002; JANG, 2004).

Desta forma, as bandas próximas de 700 cm⁻¹ é o estireno do ABS (FIG. 35) Montaudou (2002). O valor de pico nas faixas de 1768 cm⁻¹ presente em ambos os resultados (indicativo da presença de bisphenol A) como os valores descritos por Jang (2004) para o PC.

5.1.3 Análise Termogravimétrica

A análise via termogravimétrica (TGA) visou à verificação da decomposição dos polímeros ABS/PC e PC/TiO₂ por meio do acompanhamento da variação de massa em função do aumento da temperatura. A FIG. 37 mostra a termogravimetria (TG- curva verde contínua) e a termogravimetria derivada (DTG - curva azul tracejada) do ABS/PC e a FIG. 38 mostra a termogravimetria (TG - curva verde contínua) e a termogravimetria derivada (DTG - curva azul tracejada) do PC/TiO₂.

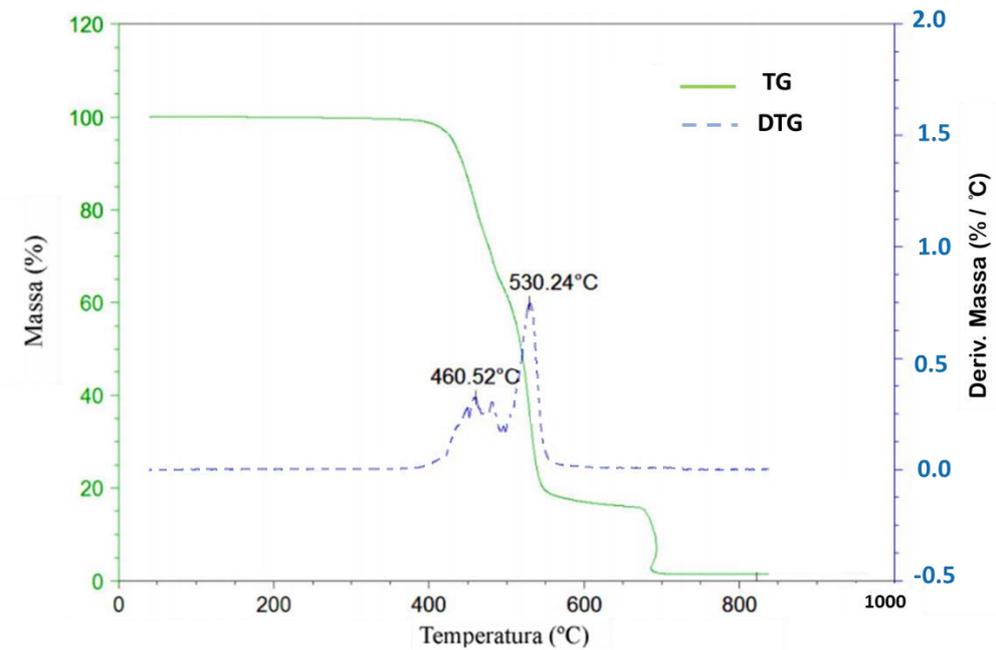


FIGURA 37- Resultados da termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG) do ABS/PC

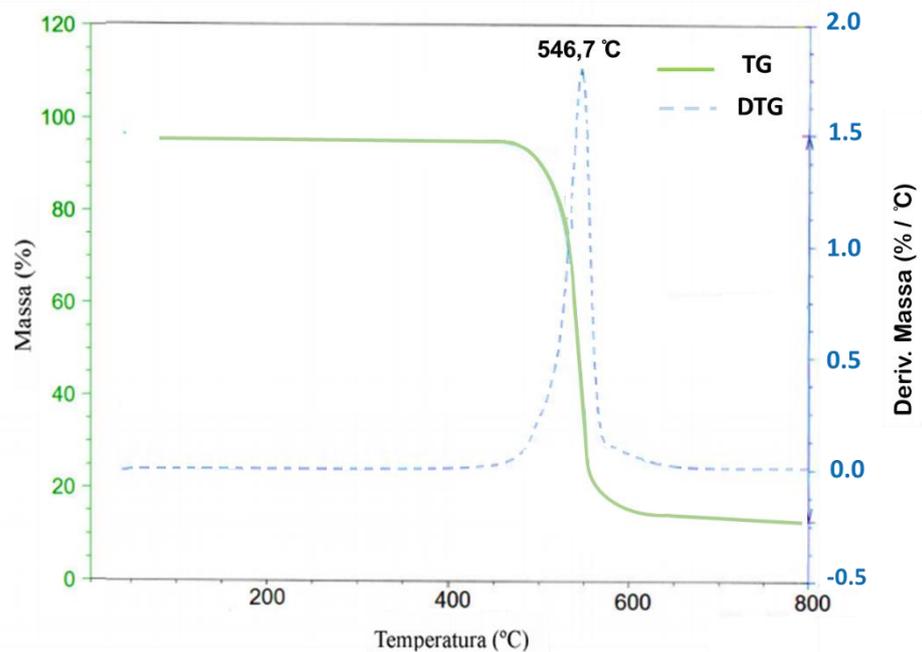


FIGURA 38- Resultados da termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG) do PC/TiO2

Conforme (Chen et al., 2007) o TiO_2 é um material que possui estabilidade térmica até a temperatura de 1.200°C . Observa-se nas curvas de inflexão de conversão de massa (DTG) FIG. 37 (curva tracejada) para o ABS/PC a temperatura de degradação $460,52^\circ\text{C}$ e $530,24^\circ\text{C}$ para o ABS.

Na FIG. 37 a massa resultante após a temperatura aproximada de 750°C é inferior à 0,5% da massa do material testado, já na FIG. 38 observa-se uma massa resultante aproximada de 10% do material avaliado, esse resultado reforça a presença dos 10% de TiO₂ no material proposto, uma vez que o mesmo possui temperaturas de degradação superiores a 800°C (Chen et al., 2007).

5.2 Teste da resistência da solda

Para iniciar análise dos resultados e discussão do teste de resistência da solda foi necessário tratar estatisticamente a base de dados obtida. Foram calculados, para cada um dos casos (ABS/PC + metalização e PC/TiO₂), a média aritmética dos valores de pressão de ruptura, o menor e o maior valor da amostra e o desvio padrão da mesma. Os dados foram obtidos após os registros de pressão de ruptura de cada amostra e são mostrados na TAB.9.

TABELA 9 – Resultado do teste de pressão

Pressão de Ruptura (mbar)		
Amostra	Condição	
	ABS/PC + metalização	PC+TiO ₂
1	271	275
2	255	292
3	292	251
4	290	296
5	251	286
Média	271	281
Desvio Padrão	22	15
Mín.	255	251
Máx.	292	296
Amplitude	43	32

5.2.1 Análise estatística

Após a obter estes valores, tornou-se a ferramenta estatística de comparação de amostras, para facilitar a identificação de cada amostra utilizou-se a nomenclatura de com e sem metalização para as duas condições estudadas respectivamente. Neste estudo, adotou-se o teste t de Student. Este teste permite comparar duas amostras independentes. Por meio deste teste, estimou-se o valor de desvio padrão populacional por meio do desvio padrão amostral.

Na distribuição t de Student, o valor de t calculado para amostras independentes é dado pela equação 2:

$$t = \frac{(\bar{X}-\bar{Y})-(\mu_{\bar{X}}-\mu_{\bar{Y}})}{S_{\bar{X}-\bar{Y}}} \quad (2)$$

Considerando-se, ainda, que as amostras têm o mesmo número de sujeitos (n) e a mesma $S_{X-Y} = \sqrt{SS_X + SS_Y / n(n-1)}$ (:

$$S_{\bar{X}-\bar{Y}} = \sqrt{\frac{SS_X + SS_Y}{n(n-1)}} \quad (3)$$

Como o objetivo é avaliar se existe variação da qualidade da solda nas duas condições, a hipótese avaliada é se a pressão média de ruptura populacional da amostra é igual à pressão média de ruptura populacional de outra. Estimou-se pela amostra utilizada. Logo, a hipótese a ser testada é, considerando x as amostras com metalização e y as amostras sem metalização:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

A T mostra as duas hipóteses em sua primeira linha. Na segunda linha, existe o cálculo dos valores do parâmetro t de Student, na terceira o t crítico e na quinta linha a decisão de se manter H0 em ambos os casos.

TABELA 10

Hipóteses para a amostra de 10 peças e decisão

	ABS/PC + metalização	PC+TiO ₂
H0	272,6	276,6
tcalc	0,8218	1,0533
tcrítico	2,21	2,21
decisão	aceita H0	aceita H0

5.2.2 Resultado visual da solda

A FIG.39 mostra o aspecto do resultado final da solda, onde pode-se constatar na indicação da seta, grande semelhança nas regiões onde as peças são soldadas (lente com o refletor). O resultado visual da solda e o teste de pressão indicam que não existe variação nas condições de solda com relação às duas condições de refletor estudado. A pouca variação nas condições de soldagem encontrada vai de encontro à análise de compatibilidade em soldar esses polímeros

feita pela (HELLA, 2013) TAB.11 simplificada, onde é qualificado o mesmo grau de soldabilidade (em evidencia da TAB. 11) quando se trata dos materiais estudados.



FIGURA 39- Aspecto da solda das amostras ABS/PC + Metalização e PC com aditivo de TiO₂

TABELA 11

Soldabilidade ente materiais termoplásticos

	PMMA	ABS	PC	ABS/PC
PMMA	x	x	x	x
ABS	x	x	o	x
PC	x	x	x	x
ABS/PC	x	x	x	x

Legenda: X = boa soldabilidade, O = soldabilidade condicionada e vazio = não soldável ou não avaliado

5.3 Teste de eficiência reflexiva

A TAB. 12 apresenta o resultado dos testes de nível de iluminação das lanternas fabricadas com ABS/PC metalizado e com PC/TiO₂ sem metalização. Observa-se que existe uma variação de 7,1 a 0,9 % entre os 9 pontos medidos em cada material. De modo geral, a eficiência reflexiva da lanterna com TiO₂ foi menor do que a metalizada. Ainda assim, a amostra contendo Dióxido de titânio permaneceu dentro da faixa aceitável de reflexão de luz solicitada pela norma interna da montadora para essa aplicação.

TABELA 12
Resultado do teste de iluminação.

Pontos medidos	Limites Iluminação mín/máx. (lx)	ABS/PC metalizado (lx)	PC/TiO ₂ sem metalização (lx)	Varição (%)
1	> 4 < 40	21,1	19,6	7,1
2	> 15 < 40	21,1	20,6	2,4
3	> 15 < 40	21,0	19,9	5,2
4	> 15 < 40	17,6	16,7	5,1
5	> 4 < 40	19,2	18,5	3,6
6	> 15 < 40	17,2	16,7	2,9
7	> 15 < 40	21,0	19,6	6,7
8	> 15 < 40	21,1	20,9	0,9
9	> 4 < 40	19,3	18,6	3,6

5.4 Teste de envelhecimento acelerado

A FIG. 40 mostra o resultado visual comparativo da condição final dos dois refletores após o teste de envelhecimento acelerado. Para ambas as peças não houve qualquer modificação física como escurecimento ou manchas na superfície do refletor.

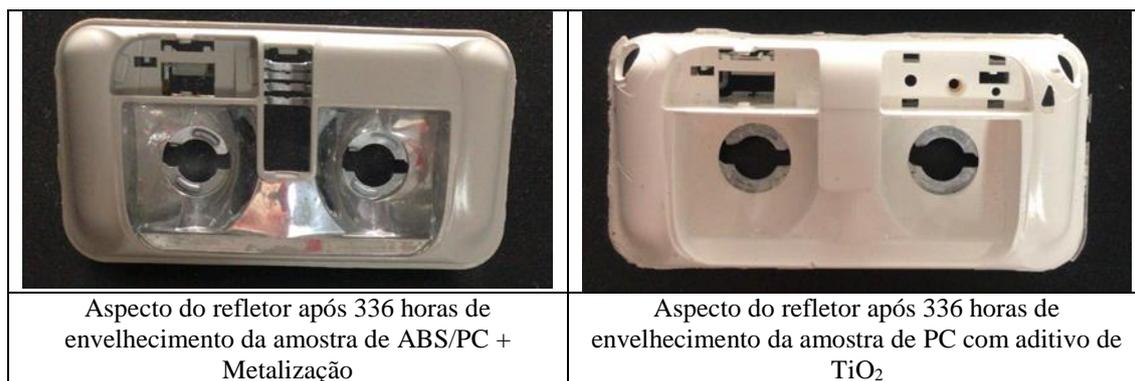


FIGURA 40: Resultado físico do teste de envelhecimento acelerado

5.5 Teste de termografia infravermelha

A FIG. 41 apresenta os termogramas com os pontos de medições selecionados por região (região esquerda, região central e região direita). Esses pontos foram escolhidos considerando a maior ou menor proximidade das lâmpadas. Utilizou-se também como referência a escala de cores (lado direito do termograma) para uma análise qualitativas da imagem para estimar as diferentes temperaturas das superfícies da lanternas.

Os termogramas mostram que as temperaturas encontradas no refletor com ABS/PC/metalizado são mais altas na região onde a geometria da peça é côncava. Isto sugere que o reflexo da luz da lâmpada na região côncava influenciou na temperatura lida pela termocâmera (FIG.41a), enquanto no corpo do refletor sem metalização PC e TiO_2 este fenômeno não aconteceu ficando a temperatura uniforme em toda região circundante da lâmpada (FIG. 41b). Quando se analisam as lanternas com as lentes de PMMA a temperatura se mostra visivelmente mais alta (considerando a escala de cores) na lanterna metalizada (FIG. 41c) se comparada com a de TiO_2 (FIG. 41d).

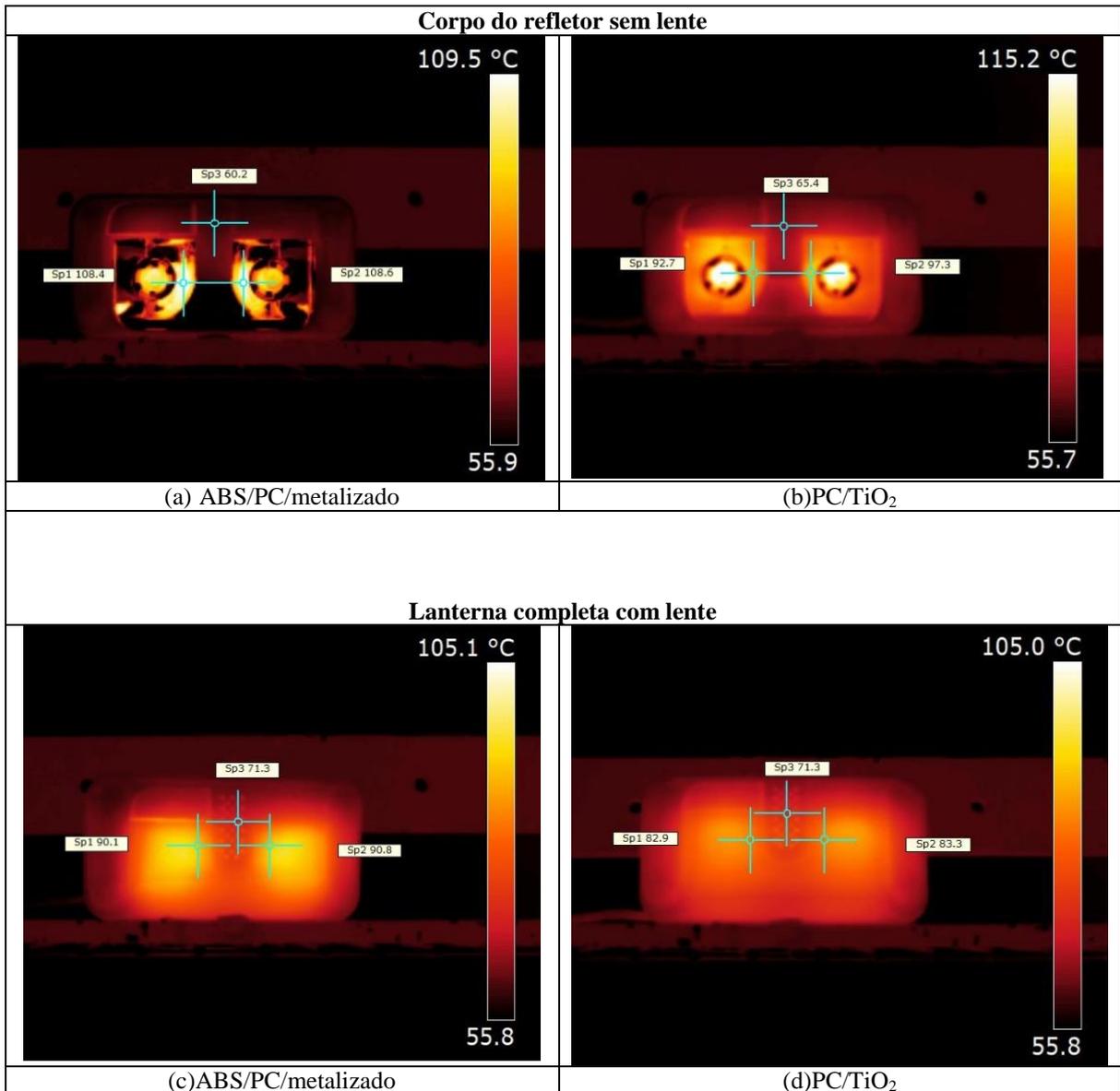


FIGURA 41- Termograma mostrando pontos na região esquerda, região central e região direita

Para uma análise mais apurada desses pontos, os valores foram transcritos para TAB. 13 e comparados com os valores de temperatura de amolecimento do material apontados pelo Teste *Vicat*. Observa-se que, com o aquecimento pelo calor da lâmpada, nenhum dos materiais atingiu a temperatura de *Vicat*, mesmo nas proximidades das lâmpadas.

Os valores de temperatura registrados no corpo do refletor ABS/PC/metalizado e sem lente, mostram que a metalização influenciou consideravelmente na temperatura do material, tanto do lado esquerdo quanto do lado direito da região circundante da lâmpada, que ficou em torno de 108,5 °C. A temperatura no corpo do refletor de PC/TiO₂ sem lente ficou em 92,7 °C do lado esquerdo e 97,3 °C do lado direito. Esta diferença de temperatura (4,6 °C) pode estar relacionada ao fato de que uma das lâmpadas pode ter ficado mais próxima do corpo do refletor.

TABELA 13

Valores de leituras termográfica e de referência *Vicat* dos materiais

Medição por região	Temperatura corpo do refletor sem lente (°C)		Temperatura da lanterna com lente PMMA (°C)	
	ABS/PC/metallizado	PC/TiO ₂	ABS/PC/metallizado	PC/TiO ₂
Esquerda	108,4	92,7	90,1	82,9
Central	60,2	65,4	71,3	71,3
Direita	108,6	97,3	90,8	83,3
Temperatura <i>Vicat</i>	132	140		

Na região central, em ambos os materiais, a temperatura da lâmpada influenciou consideravelmente o material ficando em 60,2 na lanterna ABS/PC/metallizado e 65,4 °C no corpo do refletor de PC com TiO₂ uma diferença de 5,2 °C sugerindo que a temperatura de 108,5 °C pode ter sido mais baixa. Nos refletores, quando se adiciona a lente, fica evidente a menor temperatura do material com TiO₂, média de 83,1 °C, enquanto no material metallizado foi de 90,4 °C, diferença de 7,3 °C. Isto ocorreu provavelmente pelo fato de a lente funcionar como um isolante térmico. Contudo na região central ambos os materiais atingiram a mesma temperatura 71,3 °C ficando muito distante da temperatura de *Vicat* da lente que é de 115 °C.

A partir desses ensaios tornou-se possível estabelecer critérios mais precisos para as análises das temperaturas utilizando o *software FLIR Quick Report 1.2* que permite traçar linhas de perfis para avaliar a temperatura ao longo da superfície em estudo (FIG. 42). Em todas as imagens foram identificadas duas regiões distintas, nas quais as linhas de perfis foram traçadas (L-01 e L-02). Uma região que não sofre interferência direta do calor das lâmpadas L-01 e outra, onde a linha de perfil passa pelas duas lâmpadas L-02. Ao longo dessas linhas identificaram-se as temperaturas (dimensões da lanterna 136,7 mm de comprimento 70,7 x 48,1 mm de largura) apresentadas na FIG. 42.

Corpo do refletor sem lente

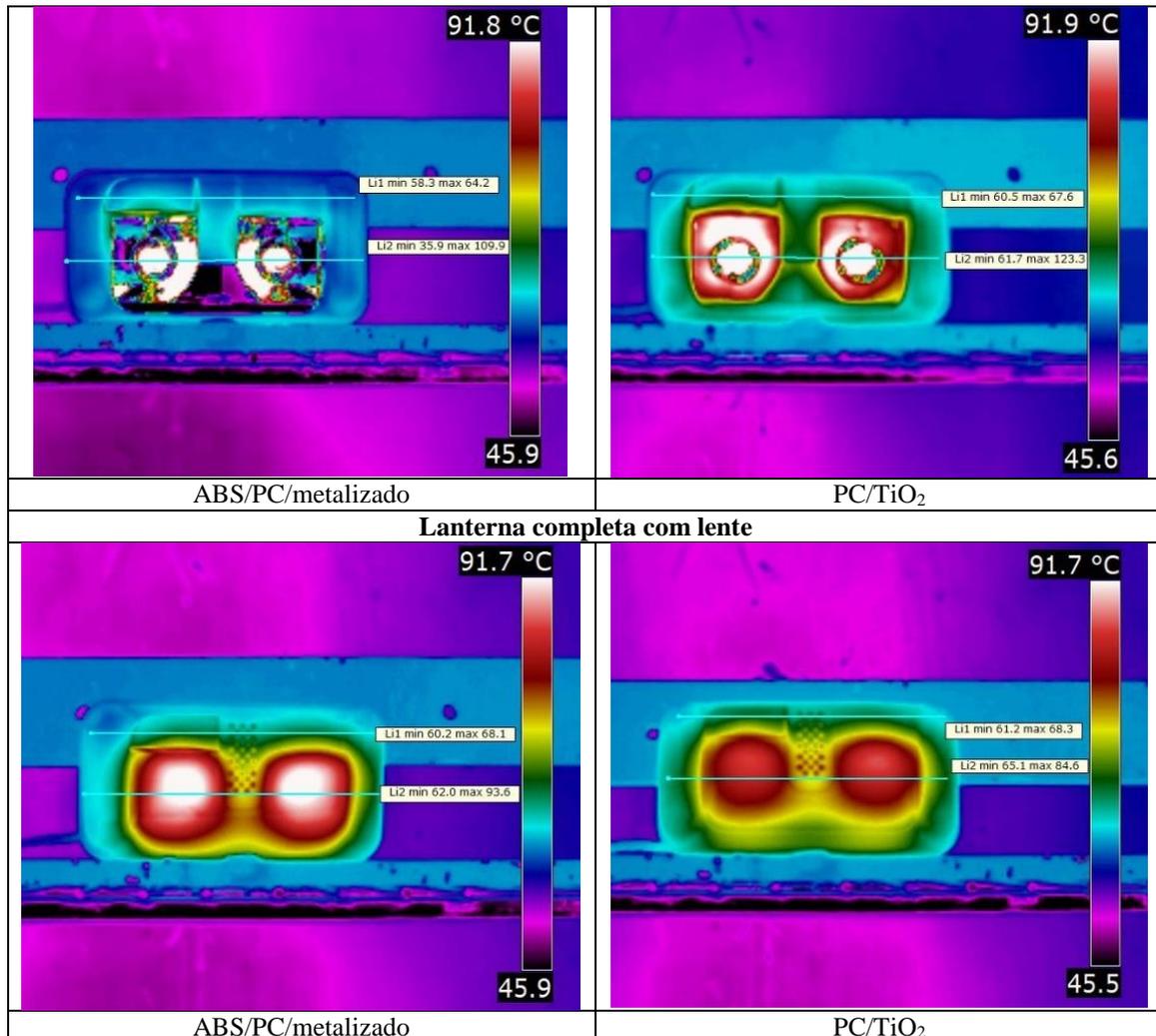


FIGURA 42- Termograma mostrando as linhas de perfil L-01 e L-02

A FIG. 43 mostra as temperaturas lidas ao longo de toda linha L-01 do corpo do refletor sem lente ABS/PC/metallizado. O material se encontra em equilíbrio com a temperatura da câmara climática com valores muito próximos de 60 °C. A linha L-02 mostra uma variação brusca nas temperaturas para menor, de ambos os lados da peça, tal fato pode estar relacionado à emissividade do ABS/PC após receber a metalização. Neste caso, a termografia capta os reflexos do entorno, ocasionando ruídos indesejáveis nas leituras, ou seja, pontos muito abaixo da temperatura da própria câmara climática (60 °C) (setas pretas).

Tais resultados estão em conformidade com o “Manual do utilizador do Termômetro infravermelho Hikari- -HT-455”²: leituras imprecisas serão obtidas ao medir superfícies brilhantes ou de metais polidos. Contudo, percebe-se que existe uma coerência entre as temperaturas lidas, próximo às lâmpadas (setas vermelhas), que são muito similares à

² Downloads/20170626175909-21N154-MANUAL-TERMOMETRO-HT-455.pdf

temperatura da própria lâmpada (setas laranja) o que indicaria, que a câmera termográfica pode ter captado o reflexo da lâmpada, gerando uma dúvida da real temperatura do material na parte metalizada.

Tal fato é reforçado, quando se analisa a região onde não existe a metalização (setas verdes), o material está em equilíbrio com a temperatura da câmara climática. Seria interessante realizar novas medições, utilizando outro tipo de recurso, como o termopar para comparar os resultados ou de acordo com o mesmo manual, compensar a emissividade do material, cobrindo a superfície a ser medida com uma fita ou pintura preta fosca.

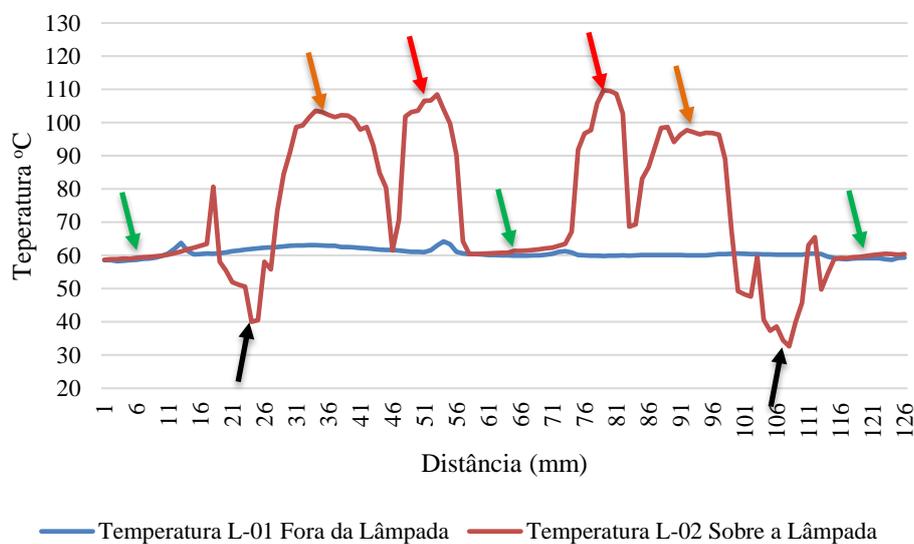


FIGURA 43- Corpo do refletor sem lente ABS/PC/metalizado

A FIG. 44 mostra as temperaturas lidas ao longo da linha L-01 do corpo do refletor sem lente PC com TiO_2 . O material também se encontra em equilíbrio com a temperatura da câmara climática, porém com valores um pouco mais altos do que ABS/PC/metalizado 65°C , indicando que o material foi levemente afetado pela temperatura da lâmpada. A linha L-02 mostra que o material apresenta temperaturas em torno de 95°C na parte côncava (setas vermelhas) e um pouco mais baixas no lado oposto 80 e 90°C (setas pretas), mostrando que a forma côncava contribuiu para temperatura mais alta, enquanto na região da lâmpada a temperatura chega a 120°C (setas laranja).

Percebe-se, contudo, uma inconsistência entre a temperatura da lâmpada das FIG. 43 e 44. Embora o tempo entre o desligamento das lâmpadas e as leituras termográficas tenham sido cronometrados, para os dois materiais, a forma como a lâmpada resfriou pode ter variado em

função dos materiais do corpo da lanterna serem diferentes. As laterais e o centro da amostra também permaneceram praticamente em equilíbrio com a câmara climática (setas verdes).

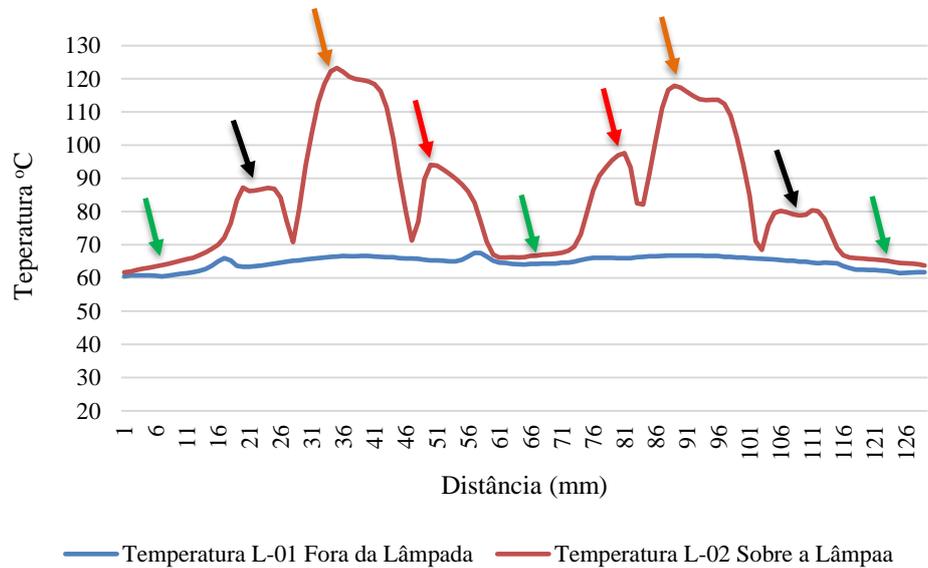


FIGURA 44- Corpo do refletor sem lente PC/TiO₂

A FIG. 45 mostra ao longo de toda linha L-01° perfil de temperatura da lanterna de ABS/PC/metalizada com a lente de PMMA. O material se encontra em equilíbrio com a temperatura da câmara climática, em valores próximos de 65 °C. A linha L-02 mostra o comportamento bastante uniforme das lentes se comparado ao corpo do refletor metalizado, os reflexos das lâmpadas não interferiram nas leituras termográficas mostrando temperatura máxima de 95 °C.

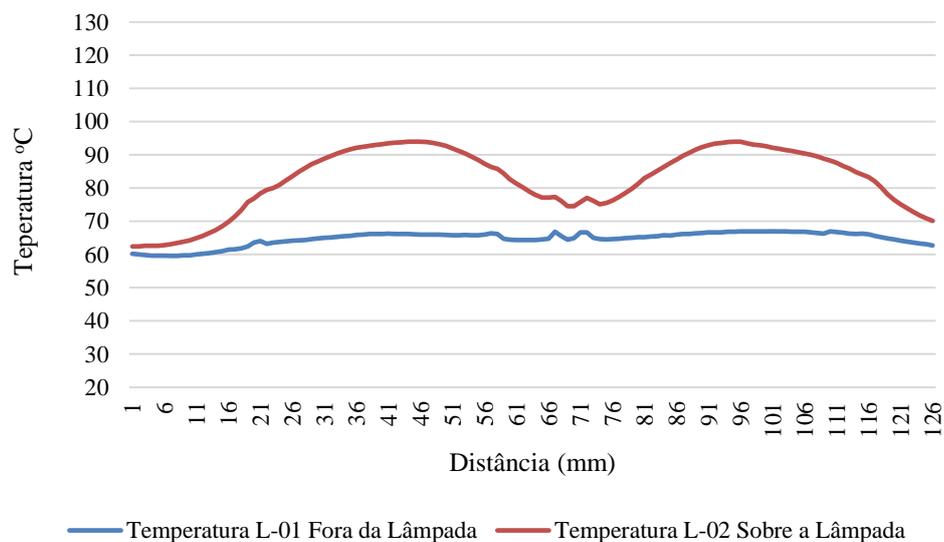


FIGURA 45- Lanterna de ABS/PC/metalizado com a lente de PMMA.

Quando se analisa a FIG. 46 do corpo do refletor de PC/TiO₂ com a lente, nota-se que a temperatura ao longo da linha L-01 é um pouco mais alta quando comparada ao material metalizado, contudo permanece dentro da faixa dos 68 °C. As temperaturas mais altas ficam em torno de 84 °C, ou seja 11 °C abaixo da lanterna metalizada, reforçando o fato de que a adição de TiO₂ foi eficiente e que o material, por apresentar temperaturas inferiores da condição atual, dessa forma, ser um potencial substituto da lanterna metalizada.

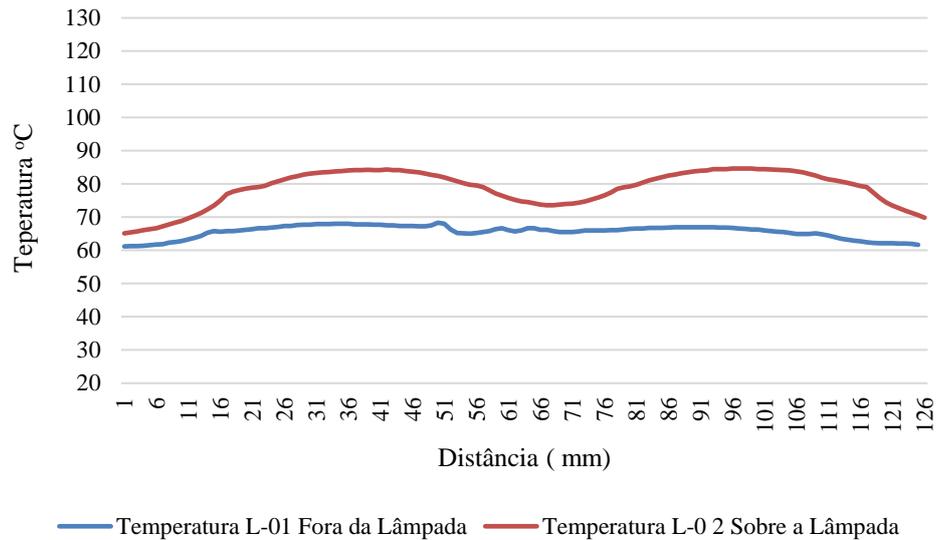


FIGURA 46- Lanterna de PC com 10% de TiO₂ com lente.

6. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram a possibilidade de eliminar a metalização em lanternas internas dos veículos automotivos pelo uso do PC com adição de TiO_2 . Os resultados indicaram que o material proposto atende às especificações solicitadas, e agrega melhoria no processo final de fabricação, sem modificar as condições de fabricação atual

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAHMER, A. et al. *Design for thermal sensation and comfort states in vehicles cabins*, *Applied Thermal Engineering*, v. 36, 2012.
- ALVARENGA, C. B. C. S. et al. *Influence of soda-lime waste glass microparticles on workability and thermal properties of portland cement compounds*. *Materiales de Construcción*, v. 69, p. 192, 2019.
- APAYDIN, V. E. et al.: *Pyrolysis Kinetics and Thermal Decomposition Behaviour of polycarbonate*. *THERMAL SCIENCE*, v. 18, p. 833-842, 2014.
- ARIADNE, H. P. *Preparação e Caracterização de Microfibras de Poli(Álcool Vinílico)/dióxido de titânio*. *Revista Polímeros*, v. 23, n. 2, p. 196-200, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR ISO/CIE 8995-1:2013. *Iluminação de ambientes de trabalho*. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro – RJ, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 5413: *Iluminância de interiores*. Rio de Janeiro, 1992.
- BARBOSA, P. G. et al. *Evaluation of Thermal Diffusivity in Ceramic Blocks Using Infrared*. *International Journal of Engineering Technology Research & Management*, v.1, n. 12, 2018.
- BASHEER, C.M. et al. “*Hot-rod thermography for in-plane thermal diffusivity measurement*”. *Measurement*, v.103, p. 235–240, 2017.
- BRYDSON, J. A. *Brydson’s Plastics Material*, Ed. Marianne Gilbert, 2016.
- BUXBAUM, G. *Industrial Inorganic Pigments*. Ed. Gunter Buxbaum, 2008.
- CALLISTER, W.D.Jr. et al. *Ciência e engenharia de materiais – Uma introdução*, Ed. LTC, 2013.
- CANEVAROLO, V.J.S. *Ciência dos polímeros*. Ed. Artliber Ltda, 2013.
- CHEN J. et al. *Preparation and properties of optically active polyurethane/TiO₂ nanocomposites derived from optically pure 1,1’-binaphthyl*. *European Polymer Journal*. v. 43, p. 4151–4159, 2007.
- CHRYSOCHOOS, A. *Infrared thermography applied to the analysis of material behavior: a brief overview*. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*, Taylor and Francis, v. 9, p.193-208, 2012.
- CIFUENTES, A. et al. “*Simultaneous measurements of the thermal diffusivity and conductivity of thermal insulators using lock-in infrared thermography*”. v. 121, p. 305-312, 2017.
- FARIA, A.W.C., et al. *An Approach for Validation between Physical Trials and Virtual Simulation, Applied in Automotive Engineering*. no: II Colloquium SAE BRASIL de Eletro-Eletrônica Embarcada e Mostra de Engenharia, (SAE BRASIL 2009), RJ 2009.
- FERNANDES, A.C. et al. *Influência da “velocidade de injeção” e “tempo de recalque” nas características de peças injetadas em polipropileno*. Congresso brasileiro de engenharia de fabricação, 2011.
- FOX, M. *Optical Properties of Solids*, Ed. Oxford University Press, 2001.

- GHORBEL, E. *et al.* *Characterization of Thermo-Mechanical and Fracture Behaviors of Thermoplastic Polymers*, Materials. v.7, p.375-398, 2014.
- GRIMM, R.A. *Welding processes for plastics. Advanced Materials & Processes 147.3 (1995): 27+*. Academic OneFile. Web. 20 Feb. 2014.
- HELLA DO BRASIL AUTOMOTIVE LTDA. *Diretriz para Realização de Técnicas de Fabricação: Solda por Vibrações de Peças Plásticas*. Normas internas da empresa. 2013.
- INTERNATIONAL JOURNAL OF THERMAL SCIENCES*. v. 121, p. 305-312, November 2017.
- JANG, B. N. *et al.* *A TGA/FTIR and mass spectral study on the thermal degradation of bisphenol A polycarbonate. Polymer Degradation and Stability*, p. 419-430, 2004.
- KATRIEN, M. *et al.* “*Assessing the thermal performance of insulating glass units with infrared thermography: potential and limitations*”. *Energy Building*, v. 138 p. 175–192, 2017.
- KOŁTERNIAK, A. *Vibration welding technology for plastics*. *Welding International*, Online, 44-49, April 2012.
- KORUKÇU, M. K. *et al.* *The usage of IR thermography for the temperature measurements inside an automobile cabin. International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2009.
- LIU, S. *et al.* *Study on flame-retardant mechanism of polycarbonate containing sulfonate-silsesquioxane-fluoro retardants by TGA and FTIR. Polymer Degradation and Stability* vol. 91, Issue 8, p. 1808-1814, 2006.
- LYU, M.Y. *et al.* *Research Trends in Polymer Materials for Use in Lightweight Vehicles. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* Vol. 16, No. 1, p. 213-220, 2015
- MANO, E. B. *Polímeros como materiais de engenharia*, Ed. Edgar Blucher Ltda., 2011.
- MODENESI, PAULO J.; MARQUES, P. V. *Soldagem I – Introdução aos Processos de Soldagem*. Belo Horizonte, novembro de 2000.
- MONTAUDO, G. *et al.* *Thermal and thermoxidative degradation processes in poly(bisphenol-A carbonate)*. *J Anal Appl Pyrolysis*. v. 47, 2002.
- NIGAM, S. *et al.* *Non-Toxic Metallization Technique for Deposition of Copper on ABS Plastic. 6 th International & 27th All India Manufacturing Technology, Design and Research Conference*, 2016.
- PATHAM, B. *et al.* *Thermoplastic Vibration Welding: Review of Process Phenomenology and Processing-Structure-Property Interrelationships. Polymer Engineering and Science*, 2011.
- PATHAM, B. *et al.* *A Simple Analytical Model for Estimation of Melt Film Variables in Thermoplastic Vibration Welding. Polymer Engineering And Science*, 2014.
- PEDRA, S. A.; Sales, R. B. C; Lana, S. L. B. *Termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural*. In: *Rumos da Pesquisa no design Contemporâneo: Relação tecnologia × Humanidade*. ISBN 978-85-60166-80-0, 2013.
- PRAKASH, S.K.A. *et al.* *Headlamp Control in Vehicles Using PWM Technique Along With an Effective Reflector. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, v. 5, 2015.
- RUDIN, A. *et al.* *Ciência e engenharia de polímeros*. Ed. Elsevier, 2015.

- SABZI, M. *et al.* *Surface modification of TiO₂ nano-particles with silane coupling agent and investigation of its effect on the properties of polyurethane composite coating.* *Progress in Organic Coatings*, v. 65, p. 222–228, 2009.
- SALES, F. A. *et al.* *Analysis of thermal performance of cementitious compounds using soda-lime glass and infrared thermography.* *Proceedings of the 3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation*, v. 1, 2015.
- SALES, R.B.C. *et al.* *Concrete macrostructure study using infrared thermography.* *Ecological Materials and Technologies for Sustainable Building*, Cairo. IC-Nocmat, 2010.
- SALES, R.B.C. *et al.* *Concrete study using infrared thermography and forced resonant frequency.* *Advanced Materials Research*, v.168 – 170, p. 778 – 786, 2011.
- SHALIK, R. J. *et al.* *Optical studies of cobalt implanted rutile TiO₂ (110) surfaces.* *ScienceDirect*, 2016.
- THERMOGRAPHY. *International Journal of Engineering Technology Research & Management*, v. 01, p. 35-48-48, 2018.
- TROUGHTON, M.J. *Handbook of plastics joining: a practical guide.* *United States of America*, 2008.
- TIM, A. *et al.* *Polymer Processing.* Ed München, Germany, 2006.
- VERATTI, A.B. *Manual do curso de formação de termografista nível I do ITC Infrared Training Center.* Rev. 1.1 Publi. Nº 1560063_E-pt/BR – Cap. 1/14. São Paulo 2011.
- VILLAR, A. *et al.* *In-situ infrared thermography measurements to master transmission laser welding process parameters of PEKK.* *Optics and Lasers in Engineering*, v. 106. p. 94-104, 2018.
- WEIDE, A. *Book of the illumination.* *Material de fabricação interno da Fiat Chrysler Automobile (FCA)*, 2013.
- WHANG, W.T. *et al.* *The synthesis and morphology characteristic study of bao-odpa polyimide/tio₂ nano hybrid films.* *Polymer*, v.44, 2003.
- WIGGENHAUSER, H. *Active IR-applications in civil engineering.* *Infrared Physics & Technology*, v.43, p.233–238, 2002.
- ZHANG H, N. *et al.* *Study of electroless copper plating on ABS resin surface modified by heterocyclic organosilane self-assembled film.* *Bull. Mater. Sci.*, v. 37, 2014.