

IMPACTOS NA SEGURANÇA VEICULAR PELA AÇÃO DOS RAIOS ULTRAVIOLETAS EM FARÓIS AUTOMOTIVOS

Carlos Alberto Leite de Moura

ARTEB

E-mails: carlos.moura@arteb.com.br

RESUMO

Como todas as autopeças, sobretudo aquelas instaladas na parte externa dos veículos automotores, os faróis estão expostos a inúmeras condições adversas, dentre elas destaca-se a incidência da luz solar. A ação dos raios ultravioletas constitui a principal causa de degradação das lentes de policarbonato, problema que se torna perceptível através de uma progressiva opacidade de tonalidade amarelada. Trata-se de um processo gradativo, concernente ao estado de conservação do dispositivo luminoso e que se vincula, direta e inevitavelmente, ao desempenho óptico e à segurança.

Quanto maior a opacidade, maior é o impacto na segurança veicular, pois semelhante aspecto corresponde a uma degradação da superfície externa da lente, fenômeno que compromete o projeto óptico e, conseqüentemente, a projeção luminosa, tornando-a ineficiente na iluminação da via e perigosa por conta do ofuscamento que promove aos demais usuários da via.

O presente artigo tem por finalidade analisar o desempenho óptico de dois pares de faróis automotivos, ambos de um mesmo modelo de veículo, um novo e outro com acentuada degradação na face externa das lentes. O intuito principal desta análise está em identificar e quantificar os principais impactos na segurança veicular, de modo a melhor caracterizar este tipo de degradação, bem como favorecer a conscientização relativa à necessária substituição de autopeças de acordo com o estado de conservação.

INTRODUÇÃO

Esta abordagem se divide em três etapas: a) breve caracterização dos faróis automotivos, expediente por meio do qual tem-se uma contextualização mais adequada da lente, componente de destaque para a presente temática; b) aspectos relativos ao desempenho e à conservação dos faróis automotivos; c) estudo de caso envolvendo dois pares de faróis relativos a um mesmo veículo, a fim de quantificar a degradação das lentes e os conseqüentes impactos na segurança veicular.

1. FARÓIS AUTOMOTIVOS: BREVE CARACTERIZAÇÃO

Faróis automotivos são dispositivos luminosos destinados à iluminação da via de tráfego, concebidos de modo a possibilitar segurança aos condutores de veículos automotores, sobretudo em situações de má visibilidade natural, como no período noturno ou em condições climáticas adversas. Estes dispositivos luminosos dividem-se em principais e auxiliares. Os

principais são os faróis de facho baixo e alto. Os auxiliares são os de neblina, longo alcance e angular ou de curva. Tendo em vista a delimitação temática, a presente abordagem se concentrará nos faróis principais, facho baixo e alto, pois ambos são de presença obrigatória em veículos automotores e, normalmente, são construídos com tecnologia suscetível ao amarelamento das lentes sob exposição prolongada aos raios solares.

A Resolução 667 do CONTRAN [1] define farol de luz baixa, em seu Anexo 1, como aquele farol: “...utilizado para iluminar a via, à frente do veículo, sem causar ofuscamento ou desconforto aos motoristas que se aproximam em sentido contrário e nem a outros usuários da via.” A mesma Resolução define farol de luz alta como aquele farol: “...utilizado para iluminar a via a uma longa distância à frente do veículo.” Pelas definições nota-se que a luz baixa ilumina a via de forma restrita, abrangendo parcialmente o cenário à frente do veículo de modo a não ofuscar a visão dos demais usuários da via, sobretudo dos motoristas localizados em sentido oposto. Adicionalmente, o farol baixo prove iluminação em maior profundidade no lado correspondente ao acostamento, tendo em vista a melhor visibilidade possível da sinalização viária. Quanto ao farol alto, este provê iluminação em profundidade, mas deve ter seu uso restrito para não incidir luz excessiva em observadores situados à frente ou em sentido oposto. No que tange ao mercado brasileiro, a distribuição luminosa dos faróis baixo e alto segue o disposto nas normas ABNT NBR 9078:2014 [2], ABNT NBR 9183:2014 [3], ABNT NBR 9293:2014 [4] e nas Resoluções 667 e 227 [5] do CONTRAN.

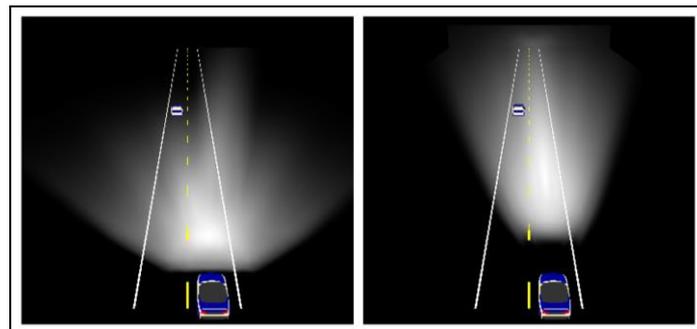


Figura 1 - À esquerda, farol baixo. À direita, farol alto. Imagens de análise CAE.

A figura 1 apresenta ambos os faróis: baixo e alto. Em uma pista de 150 m, com um painel ao fim, bem como um veículo em sentido oposto, situado a 50 m do veículo emissor de luz, nota-se que o farol baixo ilumina em profundidade apenas a zona correspondente ao acostamento, preservando o outro lado da via por ser este pertencente ao campo de visão dos motoristas que trafegam em sentido oposto. Quanto ao farol alto, este ilumina em profundidade ambos os lados da pista, chegando a iluminar também o já mencionado painel. Estas diferenças se dão, basicamente, por dois motivos: a) diferença nos perfis de projeção luminosa; b) diferença nos critérios de regulagem. A projeção luminosa do farol baixo possui uma linha de corte que delimita, para baixo, seu maior volume de luz, de modo a ter este volume concentrado na via e na sinalização viária horizontal. No caso do farol alto não há esta linha de corte, razão pela qual o farol baixo é classificado como assimétrico, enquanto que o farol alto é classificado como simétrico. Quanto à regulagem, o farol baixo possui percentual de inclinação vertical, para baixo, variável a depender de sua altura de instalação. Em média, veículos leves – categoria M1 – possuem percentual de 1%. Na prática, por conta deste percentual, a uma distância de 50 m o fecho luminoso sofre um decaimento de 50 cm. O farol alto não atua com este percentual, por esta razão provê iluminação em profundidade, como se nota nas figuras 1 e 2. Por tais diferenças compreende-se a razão do farol baixo ter uso mais frequente. Quanto

ao farol alto, seu uso restringe-se às situações nas quais seu potencial ofuscante não põe em risco a segurança veicular como, por exemplo, fora de cidades, em locais sem iluminação pública e sem a presença de veículos à frente.

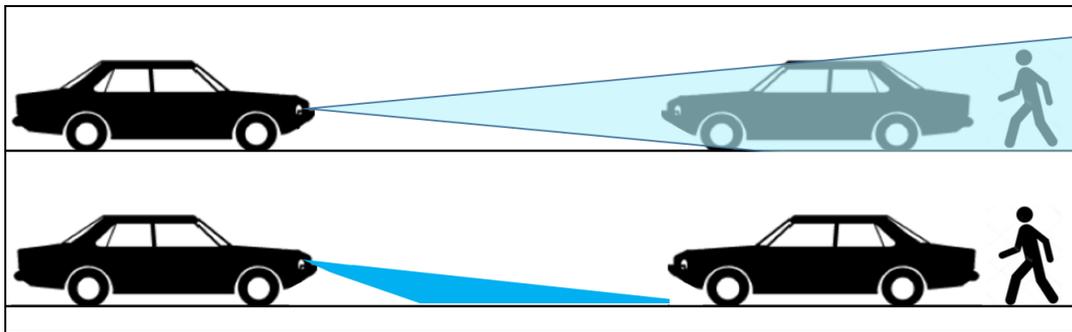


Figura 2 – Acima, farol alto. Abaixo, farol baixo.

Deve-se acrescentar ainda que os faróis automotivos integram, comumente, não apenas as funções de iluminação, há também funções de sinalização, cumpridas pelas lanternas dianteiras de posição e indicadora de direção, dentre outras. Durante a concepção do veículo são definidas as funções ópticas que cada farol irá possuir, levando-se em conta a incorporação das funções de presença obrigatória, conforme Apêndice 7 do Anexo 1 da Resolução 667 do CONTRAN. Adicionalmente, considera-se a localização destas funções no veículo com vistas a uma harmonização entre os requisitos legais e especificidades de design e estilo.



Figura 3 – Lista de peças de um farol automotivo

Sob o ponto de vista das características construtivas, considerando-se sobretudo o mercado nacional atual, faróis automotivos são resumidamente compostos tal como disposto pela figura 3 [6]: 1) Carcaça; 2) luvas de vedação; 3) refletor dos faróis baixo e alto e da lanterna de posição dianteira; 4) refletor da lanterna direcional dianteira; 5) fonte luminosa; 6) moldura; 7) guarnição; 8) lente de policarbonato. Entre carcaça e lente há uma selagem, para montagem suficientemente robusta. Nas regiões acessíveis ao usuário para a troca das fontes luminosas tem-se comumente luvas de vedação.

Por muitas décadas as lentes dos faróis foram confeccionadas com vidro, a transição para material termoplástico (policarbonato) se deu por inúmeras vantagens, dentre elas a alta resistência a impacto, a redução de massa e a liberdade de design. Como se dá em quase todos

os componentes do farol, sobretudo os que são visíveis após instalação em veículo, a lente tem as definições de sua geometria através das diretrizes de design e estilo da montadora do veículo, porém harmonizando-se com as necessidades técnicas das normas e leis aplicáveis. A isto acrescenta-se o fato de que boa parte dos detalhes e aspectos construtivos das lentes atuam em prol da correta distribuição luminosa. Aqui, tem-se em conta sobretudo geometrias complexas, com variações de espessura, condições interna e externa diversificadas em termos de acabamento e presença de ópticas secundárias.

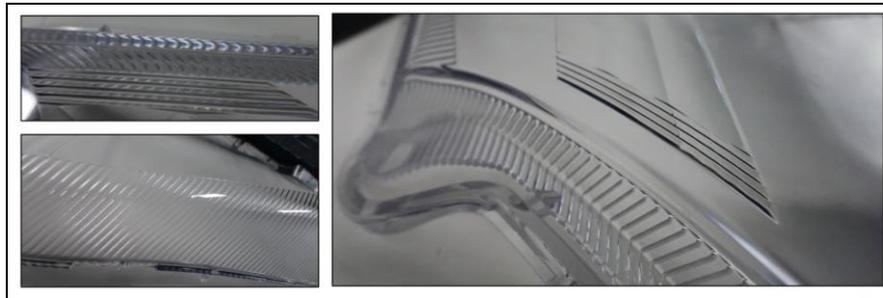


Figura 4 - Imagens de detalhes ópticos em lentes de faróis automotivos.

Tal como ilustrado na figura 4, as lentes frequentemente possuem detalhes de fins ornamental e funcional, para finalidades funcionais faz-se uso de ópticas secundárias, aptas a complementar a estratégia de distribuição luminosa iniciada pelas unidades ópticas: refletores, projetores, etc. Na medida em que cada detalhe das lentes atua em prol da distribuição luminosa originada em suas unidades ópticas, compreende-se a importância de tê-las em bom estado de conservação. Por conta das propriedades técnicas do policarbonato [7] e sua exposição às intempéries e adversidades inerentes ao uso, há no processo de fabricação das lentes a aplicação de verniz protetivo, na face externa da lente, verniz apto a conferir resistência à abrasão e à radiação UV [8]. De passagem vale destacar que as inúmeras qualidades do policarbonato, bem como suas especificidades estruturais que requerem proteção prévia ao uso, correspondem a desafios enfrentados em vários mercados [9], não apenas o automotivo.



Figura 5 – Processos de envernizamento e cura do verniz.

Conforme ilustrado pela figura 5 [10], para a proteção da face externa das lentes é preciso depositar uma camada de verniz protetivo. O processo ora ilustrado consiste em ter a lente, posicionada em um berço, no interior de uma câmara com sistema automatizado de aplicação do verniz por spray. O sistema requer automação para assegurar aplicação de camada uniforme. O jato de spray, por meio de sistema automatizado de aplicação, percorre toda a extensão da lente, assegurando a espessura da camada conforme determinado em projeto. Após a aplicação há um processo de cura do verniz, ao fim do qual a lente está apta ao processo de montagem com os demais componentes. Cabe destacar que o mercado dispõe de

outras tecnologias de processos para aplicação de verniz em lentes, portanto o que ora é apresentado segue a título de ilustração.

Enfim, exposta brevemente a finalidade do farol principal, fachos baixo e alto, bem como as particularidades de seus aspectos construtivos, com ênfase nas lentes de policarbonato, para que sejam ilustradas, brevemente, a importância e a complexidade dos dispositivos luminosos que cumprem a função de iluminação automotiva. A seguir, esta etapa inicial da abordagem será concluída pela incorporação de outros fatores diretamente responsáveis pela conformidade do desempenho técnico.

2. DESEMPENHO E CONSERVAÇÃO DE FARÓIS AUTOMOTIVOS

Tendo em vista a necessária contextualização da presente abordagem, sobretudo quanto aos fatores concernentes ao desempenho técnico regular dos faróis, outros fatores relativos à manutenção do sistema de iluminação veicular serão destacados, sistema este cumprido pela presença obrigatória destes dispositivos luminosos. Com isso pretende-se ilustrar que o estado de conservação das lentes não responde isoladamente pelo desempenho regular dos faróis e, complementarmente, pretende-se esclarecer o que foi levado em conta na metodologia de testes, relativos ao estudo de caso a ser apresentado no próximo tópico. Em outras palavras, o que em um primeiro momento corresponderá às considerações gerais e de contextualização do problema, em outro se fará presente enquanto preceito metodológico.

Para que os condutores tenham assegurado o melhor desempenho possível dos faróis de seus respectivos veículos, os seguintes fatores devem ser observados a fim de que as condições mínimas necessárias sejam asseguradas: a) procedência do farol; b) procedência e estado de conservação da fonte luminosa; c) condição de regulagem do feixe luminoso; d) estado de conservação do farol.

Considerando-se veículos novos, saídos de fábrica, a procedência dos faróis é assegurada por ações do fabricante, pois este desenvolve junto aos fornecedores de autopeças um componente suficientemente robusto e seguro, com as devidas validações em fases anteriores ao lançamento do automóvel no mercado. Porém o caso pode ser outro quando o veículo sofreu modificações e reparos, como após danos que implicaram na troca de componentes originais.

Em se tratando de faróis automotivos, há uma gama de produtos falsificados à disposição do consumidor, alguns similares aos originais para o público leigo, mas extremamente perigosos sob o ponto de vista técnico, uma vez que o desempenho óptico pode não estar em conformidade e comprometer a segurança. Para evitar que um farol falsificado seja instalado no veículo, o proprietário deve se atentar à origem do dispositivo, sobretudo se corresponde ao mesmo fabricante da amostra original que foi substituída, exceção feita aos casos em que um mesmo modelo de veículo possui mais de um fornecedor de faróis. Deve-se considerar também a idoneidade do fabricante da autopeça em questão ou ainda se é o caso de item falsificado, ou seja, se possui – de forma indevida – gravações e etiquetas de uma determinada marca.

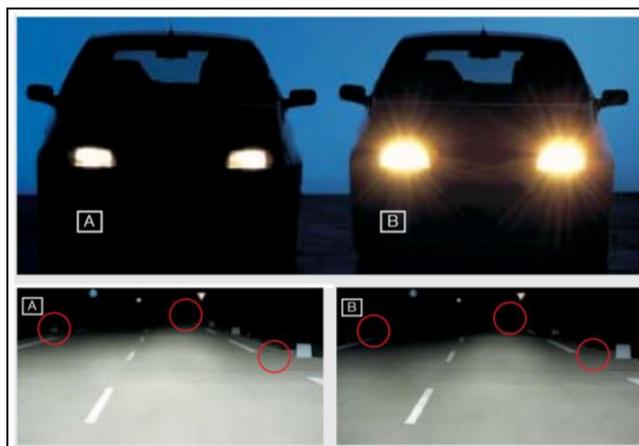


Figura 6 – Comparação entre faróis aprovados (A) e faróis reprovados (B).

A figura 6 corresponde a uma comparação técnica [11] entre dois pares de faróis, ambos de um mesmo modelo de veículo, sendo o par A de boa procedência, com desempenho técnico em conformidade com os requisitos legais, quanto ao par B, trata-se de produto de má procedência, com desempenho técnico inseguro, reprovado em vários requisitos, inclusive o fotométrico. As imagens relativas ao par B ilustram a insegurança associada a um produto de má procedência, seja pela incidência de luz excessiva nos olhos dos outros usuários da via, seja pela carência de iluminação no campo de visão do condutor, como se nota através das regiões críticas, destacadas com círculos vermelhos.

Quanto à fonte luminosa, o estado de conservação varia em decorrência do uso. Um indício de que a substituição se faz necessária é a percepção reduzida do cenário em que se trafega, pois antes de apresentar falhas, como rompimento do filamento, as fontes luminosas reduzem seu fluxo luminoso. Menor volume de luz é claro indício de fonte luminosa gasta. O que dificulta esta percepção é que a redução do fluxo luminoso ocorre de forma lenta e gradativa, por conta disso uma das recomendações é a adoção de uma postura ativa, como a troca periódica, independentemente de ocorrências pontuais, o que pode variar conforme o uso. Com as atuais disposições da legislação brasileira, sobretudo a obrigatoriedade disposta pelo Art. 40 do CTB [12], quanto ao uso diurno do farol baixo em veículos não equipados com a DRL (lanterna de rodagem diurna), a periodicidade de troca das lâmpadas tende a aumentar.

Quanto à procedência das fontes luminosas, sobretudo se for o caso de lâmpadas de filamento, deve-se observar a necessária presença de certificação do INMETRO [13] que, desde 2013, estabelece condições para este tipo de produto em território brasileiro. O programa de certificação do INMETRO não engloba todos os modelos de lâmpadas automotivas, porém sua abrangência se estende para a grande maioria delas. No momento da compra de uma lâmpada automotiva deve-se averiguar esta questão, caso a manutenção do sistema de iluminação não seja realizada por serviço especializado.

Outras formas de se verificar a boa procedência da lâmpada automotiva são as gravações de homologação internacional, uma vez que as marcas tradicionalmente atuantes no mercado nacional são de abrangência global, as mesmas já possuem em seus produtos as identificações padronizadas de itens homologados a partir dos critérios técnicos das Nações Unidas [14], critérios aceitos no país.



Figura 7 – Exemplos de gravações em lâmpadas automotivas homologadas.

Como ressalva, deve-se ter em mente que gravações são passíveis de falsificação, portanto elas correspondem, apenas, a uma parte do que deve ser verificado. A credibilidade da marca junto ao mercado atua como indício, e como todas as montadoras de veículos só trabalham com produtos de qualidade atestada, um procedimento menos suscetível a problemas é trocar a fonte luminosa original de fábrica por outra de mesmos modelo e fabricante.

Cabe salientar que toda substituição, de farol e/ou fonte luminosa, implica em analisar a condição de regulagem, pois variações dimensionais apresentadas por cada farol e/ou lâmpada alteram o alinhamento da projeção luminosa. O procedimento correto a ser aplicado na regulagem é aquele presente na parte 5 da norma de inspeção veicular ABNT NBR 14040 [15]. Neste documento constam os percentuais de inclinação do fecho baixo de acordo com a classificação do veículo considerado. Outros critérios técnicos, igualmente pertinentes à regulagem, encontram-se nas já mencionadas Resoluções 227 e 667 do CONTRAN, ambas atualmente convalidadas pelo Art. 12 da Resolução 667. No caso da Resolução 667, devem ser observadas sobretudo as disposições do Anexo 1, apêndice 4.

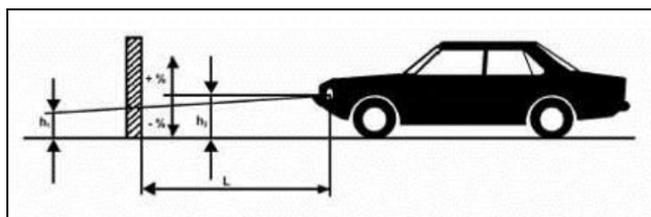


Figura 8 - Ilustração da Resolução 667 do CONTRAN sobre a regulagem do farol baixo.

Quanto ao estado de conservação do farol em geral, cabe ressaltar não apenas a regularidade das condições visuais (lentes limpas e sem degradação, componentes internos isentos de danos em acabamentos como pintura, metalização, envernizamento, etc) mas também a preservação das características originais, isto é, farol sem alterações em seus componentes internos e/ou externos, farol isento de adaptações quanto à fonte luminosa original. Vale aqui ressaltar que todas as características presentes em um item original de fábrica, sem exceção, possuem uma finalidade específica: promover os melhores desempenho e durabilidade possíveis. Em se tratando da lente, componente situado entre a origem dos raios luminosos e a projeção que incide na via de tráfego, sua conservação é determinante para a segurança veicular.

Para que seja compreendida a importância quanto ao estado de conservação da lente, é preciso acrescentar considerações ao já exposto, de passagem, acerca da composição e estrutura do farol. Por um lado a unidade óptica do farol, aquela unida à fonte luminosa e que projeta o feixe luminoso, precisa estar maximamente imune às intempéries da parte externa, o que implica em alojamento maximamente estanque. Por outro lado, a projeção luminosa emitida pela mesma unidade óptica requer a mínima interferência possível, para a correta transmissão dos raios luminosos, de seu interior para o campo de visão do condutor. Com isso, observa-se que a lente de um farol atua de forma ambivalente, pois se por um lado estrutura o dispositivo favorecendo sua relativa estanqueidade perante infiltrações de água ou poeira, por outro lado se sobrepõe à transmissão dos raios luminosos. Esta sobreposição, a promover a refração dos raios luminosos, é devidamente considerada em projeto, durante validação computacional CAE, de modo a não representar problemas ao desempenho do produto. No entanto, ao sofrer degradações inerentes à vida útil, a sobreposição dos raios luminosos promoverá, progressivamente, dispersão, absorção e refração em proporções aleatórias, dada a alteração das propriedades ópticas do policarbonato.

Como já observado, a camada de verniz aplicada na face externa das lentes proporciona resistência à abrasão e à incidência dos raios UV, no entanto, esta mesma camada tem uma vida útil, variável conforme a tecnologia aplicada, o que em média varia de 3 a 5 anos considerando-se as principais tecnologias em uso no mercado nacional. Ultrapassada a garantia do fabricante, observa-se uma opacidade gradativa que, em termos de interação com os raios luminosos provenientes do conjunto óptico, resulta nos problemas ilustrados na figura 9.

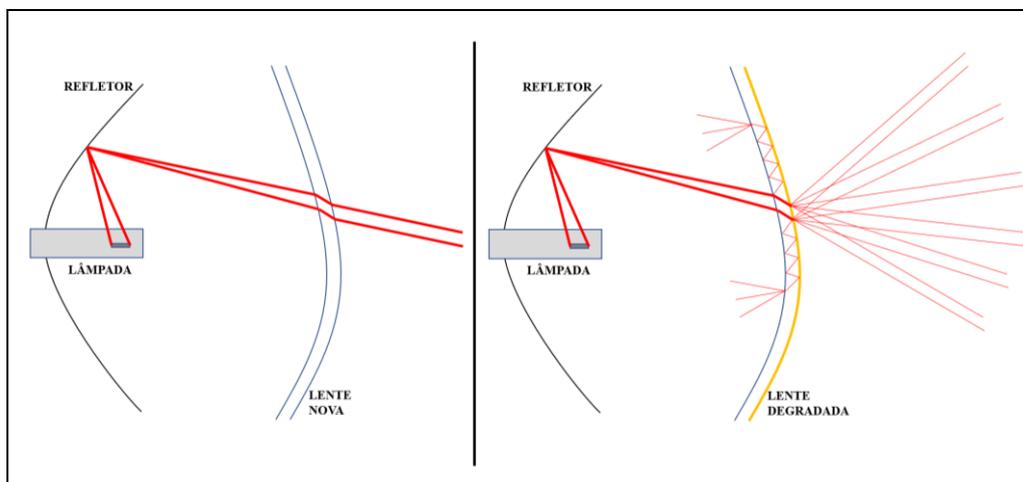


Figura 9 – Trajetória dos raios luminosos em lente nova e lente degradada por raios UV.

A degradação da lente compromete a trajetória dos raios luminosos, afeta o fator de transmissão reduzindo o volume de luz que efetivamente incide na via de tráfego, desencadeia maiores difusão e absorção da luz emitida pela unidade óptica. A difusão elevada dá origem ao iluminamento aleatório e ao ofuscamento, a absorção elevada desencadeia aumento da temperatura no interior do farol, sobretudo por reter parte da radiação emitida pela lâmpada. Enfim, uma vez constatados os fatores mais importantes, concernentes ao desempenho óptico de faróis, o próximo tópico encerrará a presente abordagem com um estudo de caso.

3. ESTUDO DE CASO

Como já informado, o que no tópico anterior contextualizou a segurança veicular na perspectiva do farol automotivo, aqui se insere como preceito metodológico. Foram levados em conta neste estudo de caso: a) dois pares de faróis de procedência conhecida, com qualidade de origem atestada (homologados junto aos Regulamentos técnicos das Nações Unidas); b) ambos os pares analisados com as mesmas lâmpadas, de fluxo luminoso conhecido (padrões de laboratório); c) adotado o mesmo critério de regulagem. Portanto a única variável foi a do estado de conservação de cada par de faróis, mais especificamente de suas lentes: um par novo e outro degradado, com aproximadamente dez anos de uso e opacidade acentuada nas lentes.

A análise fotométrica foi realizada em laboratório acreditado pelo INMETRO sob número CLF 0037 [16], mediante as diretrizes da ABNT NBR ISO/IEC 17025. Vigoram no mencionado escopo as avaliações fotométricas que aqui se apresentam para quantificar o desempenho de ambos os faróis. Através das análises laboratoriais foram extraídos arquivos para análise CAE, esta informação de base computacional possibilitou quantificar e exemplificar, através do software LucidShape [17], o desempenho de cada par de faróis.



Figura 10 – À esquerda, farol degradado. À direita, farol novo.

A comparação, lado a lado, entre farol novo e farol degradado, como se vê na figura 10, permite constatar que a opacidade da lente compromete não apenas a segurança mas também o design, na medida em que a percepção dos componentes internos – moldura, refletor e lâmpadas – é reduzida.



Figura 11 - À esquerda, farol degradado próximo (abaixo) e a 10 m (acima). À direita, farol novo próximo (abaixo) e a 10m (acima).

Na figura 11 tem-se os faróis novo e degradado, ambos com fecho baixo aceso em sala escura. A 10 m de distância observa-se, à esquerda, a maior incidência de ofuscamento, sobretudo pelo volume de luz em direção à câmera que, aqui, faz as vezes do que na prática corresponde ao olho do observador.

As análises computacionais (CAE) apresentadas neste artigo, sobretudo aquelas correspondentes às figuras 12, 15, 16 e 17, atuam com um intervalo de iluminamento compreendido entre 0,4 lx e 160 lx, intervalo presente nos requisitos fotométricos aplicáveis.

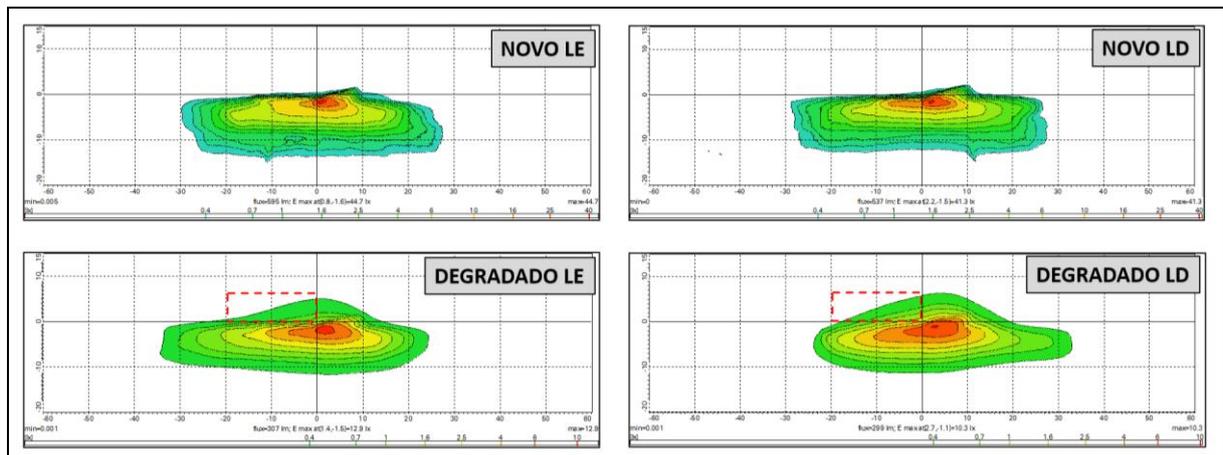


Figura 12 - Faróis baixos, dos pares novo e degradado, em tela de medição a 25 m.

A figura 12 apresenta as projeções luminosas de ambos os pares, obtidas em laboratório fotométrico, relativas ao farol baixo de ambos os lados de montagem em veículo: lado direito (LD) e lado esquerdo (LE). Nota-se que a degradação das lentes resultou em modificação das projeções luminosas. O par degradado apresenta maior ofuscamento, ou seja, maior volume de luz acima da linha de corte situada à esquerda do painel (área destacada com retângulo vermelho), zona correspondente ao campo de visão dos motoristas que trafegam em sentido oposto.



Figura 13 – Análise CAE de ambos os pares de faróis, fechos baixos, em pista de 150 m.

A figura 13 ilustra o desempenho de ambos os pares em uma pista de 150 m que, ao fim, possui um painel. Nota-se, pelo iluminamento à esquerda do painel, o ofuscamento

desencadeado pelo par degradado. Na prática, motoristas situados à frente, terão desconforto visual ou ofuscamento por conta da luz excessiva em seu campo de visão.

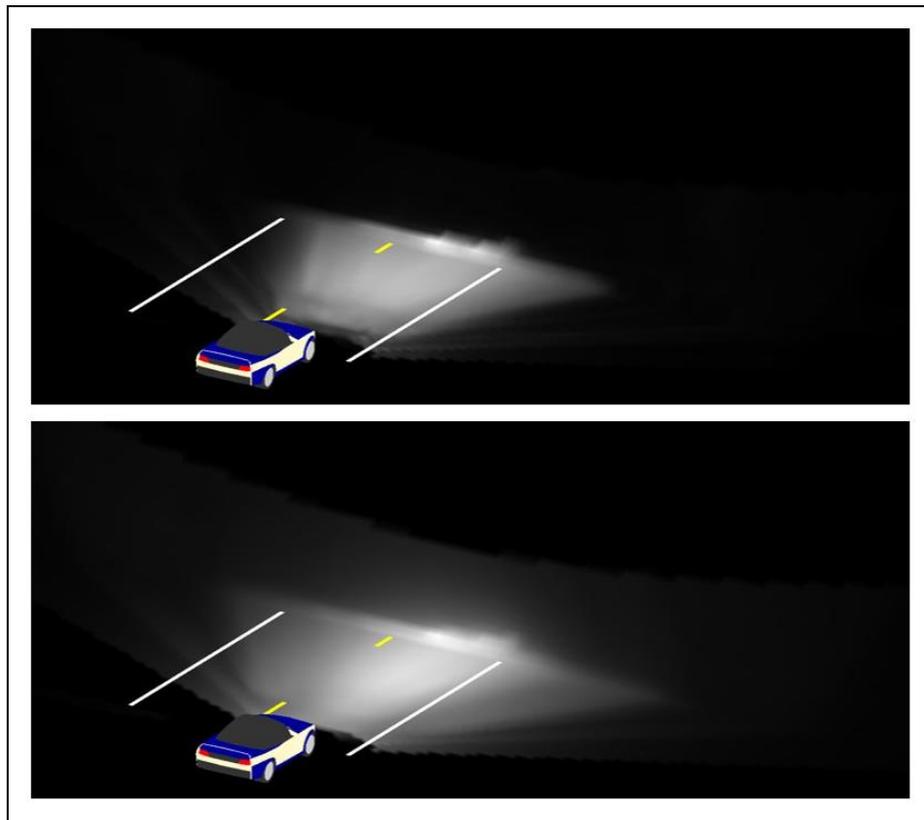


Figura 14 – Pares de faróis baixos a 10m de um painel. Novo, acima, e degradado, abaixo.

A figura 14 ilustra o mesmo fenômeno do ofuscamento, porém neste caso com um painel situado a 10 m, distância recomendada (pelas Resoluções CONTRAN vigentes) à avaliação visual do farol baixo e à regulagem de sua projeção luminosa. Nota-se que o par degradado projeta muita luz para cima, não obstante o farol baixo ter por finalidade o iluminamento da via. O par degradado apresentou redução de seu volume de luz e, conseqüentemente, redução de visibilidade ao condutor do veículo.

Na projeção luminosa do farol baixo novo, do lado direito, o fluxo luminoso efetivamente incidente na tela de medição foi de 537 lm. Como a lâmpada utilizada, modelo H7 [18], possui um fluxo luminoso de 1100 lm, a eficiência óptica do conjunto, neste caso, é de 48,8%. No cômputo geral desta eficiência devem ser considerados os rendimentos de todos os componentes responsáveis pela projeção luminosa, ou seja, o refletor metalizado e a lente. Considera-se as perdas decorrentes dos fatores de refletância (refletor) e de transmitância (lente). Quanto ao fator de refletância, o considerável à tecnologia presente nos faróis deste estudo é de 80%, 20% de perda. Para o fator de transmitância da lente, a tecnologia presente nos faróis avaliados é de 84%, 16% de perda.

O rendimento do refletor óptico se pauta no percentual de luz que ele efetivamente projeta, pois parte da luz emitida pela lâmpada se perde, seja por não incidir na superfície refletora, seja por ser absorvida por este e outros componentes internos, como moldura e lente. Este percentual de rendimento do refletor varia de acordo com as condições específicas de cada projeto, no que se incluem dimensões e formatos. Estas considerações, sobre os aspectos

concernentes à eficiência óptica do conjunto, aplicam-se a todas as amostras deste estudo. No caso do par de faróis degradados, a redução de eficiência óptica se deve predominantemente à depreciação da lente, sobretudo porque a lâmpada utilizada em teste foi a mesma e, de modo geral, o refletor não apresentou indícios de depreciação.

O rendimento óptico do farol novo, do lado esquerdo, foi de 54%. Quanto ao par degradado, o rendimento óptico do fecho baixo, de ambos os lados, foi reduzido a 27%. Com a redução do volume de luz, em torno de 50%, houve perda de visibilidade em profundidade no campo de visão relativo ao acostamento, em torno de 55 m, conforme figura 15.

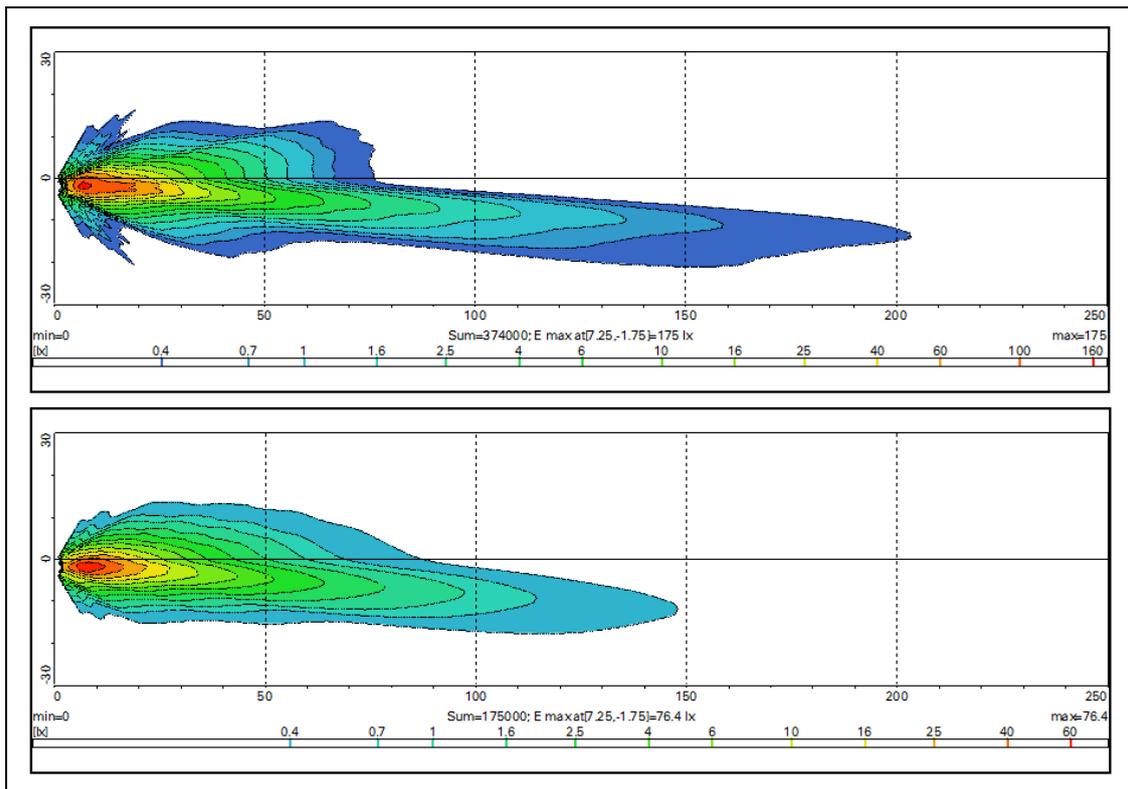


Figura 15 – Pares de faróis baixos em pista de 250 m: acima, novo, abaixo, degradado.

Ainda de acordo com a figura 15, o par novo ilumina o acostamento em maior profundidade, ultrapassando 200 m. Semelhante desempenho confere maior segurança na medida em que incide mais luz nos elementos da sinalização viária, tanto vertical (placas) quanto horizontal (faixas, tachas refletivas), bem como mais luz em eventuais pedestres ou animais localizados nas proximidades. Trata-se de mais segurança sobretudo em períodos noturnos ou de má visibilidade natural.

Pontos	Margens de iluminação		Valores encontrados em cada amostra			
	mínimo	máximo	novo do lado direito	novo do lado esquerdo	degradado do lado direito	degradado do lado esquerdo
8L/4U	0,3 (soma dos pontos)	1	0,11	0,14	0,38	0,37
V/4U		1	0,12	0,15	0,58	0,47
8R/4U		1	0,13	0,13	0,61	0,35
4R/2U	0,6 (soma dos pontos)	1	0,14	0,19	0,77	0,57
V/2U		1	0,16	0,21	1,03	0,69
4L/2U		1	0,24	0,20	1,48	0,67
4L/H	0,2	1	0,40	0,52	1,24	0,83
8L/H	0,1	1	0,52	0,51	1,78	1,04
H/V	-----	1	0,68	0,62	2,57	1,54
B50L	-----	0,6	0,29	0,32	1,38	0,84
75L	-----	15	2,53	2,53	2,73	1,85
75R	9,6	-----	12,21	12,24	6,27	5,91
50R	9,6	-----	25,87	26,79	8,80	9,49
50V	4,8	-----	10,91	13,97	5,25	5,61
50L	-----	18	6,93	6,74	3,51	3,10
25L	1,6	-----	10,90	12,19	3,42	4,08
25R	1,6	-----	10,31	5,22	4,84	3,50
ZONA IV	2,4	-----	6,95	7,08	3,15	3,06
ZONA I	-----	≤ 2x50R	40,80	44,50	9,28	12,67
ZONA III	-----	1	0,67	0,62	2,85	1,54

Tabela 1 – Resultados fotométricos dos pares de faróis baixos.

O par novo apresentou iluminação aprovada conforme os critérios fotométricos do regulamento 112 das Nações Unidas [19], referência técnica internacional aceita pelas Resoluções CONTRAN.

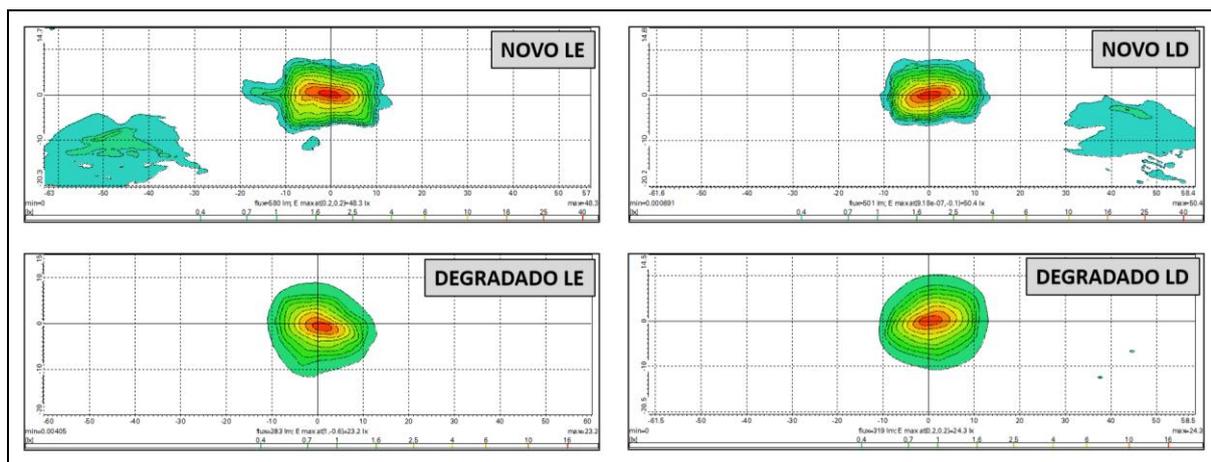


Figura 16 - Pares de faróis altos. Acima, novo, abaixo, degradado.

A figura 16 apresenta as projeções luminosas de ambos os pares, relativas ao farol alto de ambos os lados de montagem em veículo: lado direito (LD) e lado esquerdo (LE). Nota-se que a degradação das lentes modificou as projeções luminosas, promovendo maior dispersão em

sentido vertical. A lâmpada utilizada no farol alto é a H1 [20], modelo cujo fluxo luminoso é de 1150 lm. O rendimento óptico do farol novo foi de 43,5% para o lado esquerdo e de 50,4% para o lado direito. Quanto ao par degradado, o rendimento óptico foi de 27,7% para o lado esquerdo e de 24,6% para o lado direito. A degradação da lente reduziu a visibilidade em profundidade, conforme figura 17.

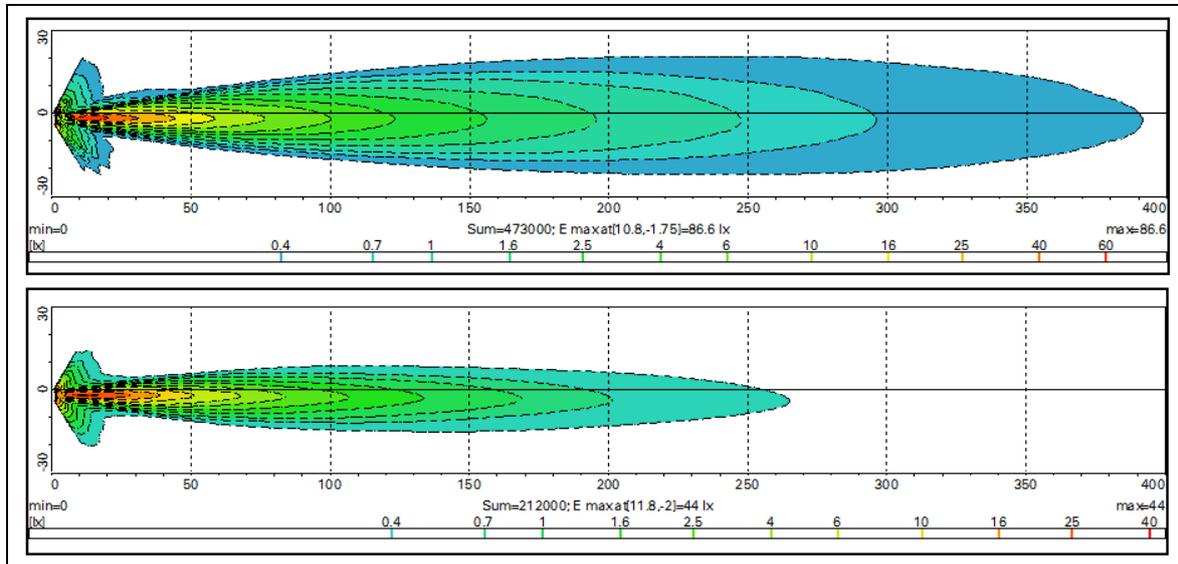


Figura 17 - Acima, par novo. Abaixo, par degradado. Faróis altos em pista de 400 m.

Pela figura 17 nota-se que a degradação das lentes impôs, ao farol alto, uma redução de 125 m no alcance do fecho luminoso. Algo que se justifica através dos valores de iluminação apresentados na tabela 2.

Pontos	Margens de iluminação		Valores encontrados em cada amostra			
	Mínimo	Máximo	novo do lado direito	novo do lado esquerdo	degradado do lado direito	degradado do lado esquerdo
H/V	≥ 0,75 Emax	288	44,70	43,30	20,05	17,14
5L	4,8	-----	11,61	11,62	3,60	3,83
2,5L	19,2	-----	35,07	33,86	10,08	9,77
2,5R	19,2	-----	33,04	31,87	14,89	9,87
5R	4,8	-----	14,89	19,62	7,21	3,84
Emax	38	288	50,40	48,30	24,30	23,20

Tabela 2 – Resultados fotométricos do par de faróis altos, novo e degradado.

Adicionalmente, no que tange ao desempenho fotométrico, houve impacto também nas funções sinalizadoras, as lanternas dianteiras de posição e indicadora de direção tiveram uma redução de intensidade em torno de 50%. Na medida em que as projeções luminosas destas duas funções interagem com a mesma lente, este percentual decorre do mesmo impacto sofrido pelos faróis baixo e alto.

A fim de quantificar o problema, foi averiguada a espessura da camada de verniz. Como informado, as lentes dos faróis novos possuem camada de verniz uniformemente distribuída face externa, sobretudo em função do processo automatizado que assegura baixa variação na espessura da camada ao longo da superfície tratada. As dimensões mínima e máxima variam de acordo com as tecnologias e processos envolvidos, porém no contexto da presente análise a mencionada espessura deve estar entre 7 e 17 μm para ser considerada aprovada. O farol novo apresentou espessura média de 15 μm , já o farol degradado apresentou espessura média de apenas 3 μm . Ainda sobre a lente degradada foram encontradas dificuldades para a realização do teste, pois determinados trechos dificultavam a leitura do equipamento por conta do estágio avançado de depreciação.



Figura 18 – Verificação da camada de verniz em lente de farol automotivo [21].

A figura 18 ilustra a metodologia aplicável à medição da camada de verniz. Um leitor óptico, posicionado sobre a lente e unido a uma base computadorizada, coleta as informações obtidas em cada amostra. A redução da espessura de camada de verniz é progressiva e, como a do presente caso, uma vez reduzida a somente 1/5 da condição original, fragiliza a lente ainda mais perante a incidência dos raios ultravioletas, condição que tende a acelerar o desgaste na contínua exposição à radiação. Como previamente observado, através dos valores fotométricos encontrados no par degradado, bem como através das imagens de análise computacional, a opacidade, resultante da degradação ocorrida na camada de verniz remanescente, reduziu o fator de transmissão do policarbonato e aumentou a difusão dos raios luminosos refratados pelo meio. Por esta razão a lente passa a reter mais raios luminosos e aqueles que atravessam o meio se dispersam, tornando a projeção luminosa irregular, ofuscante e ineficiente no que tange ao iluminamento da via.

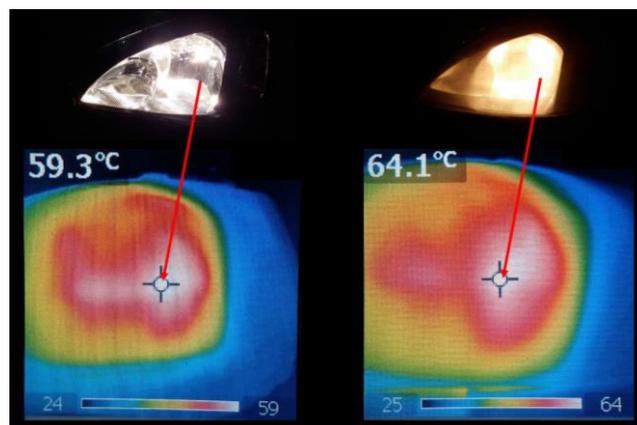


Figura 19 – Análise térmica dos faróis

A retenção de parte dos raios luminosos significa concentração de radiação, algo que resulta em elevação da temperatura interna do farol, podendo desencadear problemas de ordem

térmica em componentes internos, sobretudo porque o farol não é concebido para conservar um excedente de radiação em seu interior. Conforme figura 19, a análise térmica identificou um aumento de 4,8 °C na temperatura da lente. Este comportamento confirma parte dos efeitos já ilustrados pela figura 9, relativos a um excedente de radiação no interior do farol. O teste foi realizado em laboratório, a uma temperatura ambiente de 23 °C, mas há inúmeras situações práticas nas quais o farol poderá ter uma elevada temperatura ambiente, como no tráfego diurno de verão. A temperatura ambiente, neste caso hipotético, seria uma somatória da incidência direta de raios solares e do calor proveniente do motor do veículo e adjacências. Se nestas condições os componentes plásticos do farol forem de má procedência ou se estiverem mal dimensionados quanto à resistência térmica, estes 4,8°C adicionais poderão causar problemas ainda maiores do que aqueles já apresentados aqui, como de fato ocorreu com a amostra do lado direito, relativa ao par degradado.

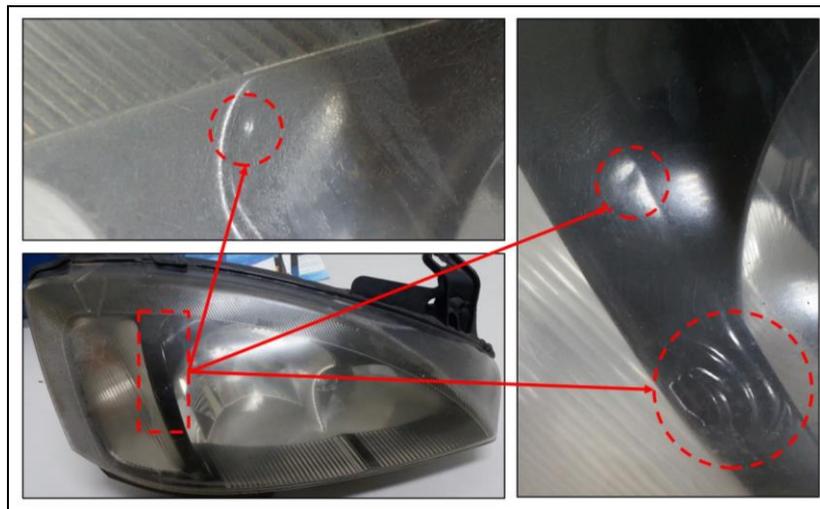


Figura 20 – deformações na moldura do farol degradado por temperatura.

A figura 20 ilustra os problemas térmicos identificados na amostra degradada, relativa ao lado direito de montagem no veículo, com deformações na superfície da moldura. A depender da eventual fragilidade de cada componente perante a elevação da temperatura interna, outros problemas podem surgir após a degradação das lentes.

O exposto até aqui permite-nos articular aspectos técnicos e legais do tema: a degradação das lentes resulta em sistema de iluminação veicular defeituoso, algo tipificado pelo o Art. 230 do CTB [22] como infração passível de multa. Assim sendo, uma das principais questões a serem levantadas, tendo-se em vista a preservação da segurança veicular, é a seguinte: como fiscalizar semelhante infração?

Pelos dispositivos legais já promulgados, dentre eles o Art. 104 do CTB [23] e a Resolução 716 do CONTRAN [24], há mecanismos adequados a esta fiscalização. Não obstante esta base legal, é comum observar a circulação de faróis com lentes degradadas. Das muitas causas possíveis para este problema, uma se destaca: o modo como atualmente o estado de conservação do sistema de iluminação veicular é classificado. A base normativa dos mecanismos legais acima mencionados, NBR 14040-5:2017, em seu item 4.4, atribui defeito leve (DL) à “Conservação deficiente dos faróis e/ou das superfícies refletoras”. Considerando-se que na referida norma os defeitos dividem-se em leves (DL), graves (DG) e muito graves (DMG), torna-se questionável que a “conservação deficiente dos faróis” seja

considerada como DL, sobretudo por DL ser definido como: “defeito que, por sua natureza, não afeta significativamente a conformidade cadastral e/ou a segurança do veículo”.

Neste contexto de classificação de defeitos, as informações apresentadas no estudo de caso permitem ao menos duas constatações: a) a opacidade das lentes corresponde a uma conservação deficiente dos faróis; b) esta deficiência afeta significativamente a segurança. Enfim, os resultados do estudo de caso contrariam a conservação deficiente como DL, especialmente por atestarem, quantitativamente, o comprometimento do desempenho e da segurança.

Assim sendo, conclui-se que a gravidade do problema aqui abordado, embora genericamente prevista em norma, ainda não possui classificação compatível com sua natureza. Na medida em que a classificação embasa tecnicamente as ações requeridas, e somente os defeitos grave (DG) e muito grave (DMG) implicam em reparação, faz-se necessário reavaliar a classificação do estado de conservação dos faróis, de modo a não ter, na prática da fiscalização e inspeção, a opacidade das lentes sob a classificação de defeito leve (DL).

CONCLUSÃO

Faróis automotivos são dispositivos luminosos indispensáveis à segurança veicular, promovem a visibilidade necessária ao condutor do veículo, sobretudo em condições adversas à percepção da via. Como toda autopeça, estes dispositivos têm vida útil e para além desta operam com deficiência e riscos à segurança do condutor e demais usuários da via.

Dos aspectos positivos e negativos desta questão, dois se destacam. O positivo é que o término da vida útil do farol é constatável pela degradação das lentes de policarbonato, portanto uma vez ciente dos riscos envolvidos na circulação viária com faróis degradados, o proprietário pode realizar a necessária substituição. O aspecto negativo está vinculado ao caráter lento da degradação, ou seja, apenas por análise visual e qualitativa, sem os equipamentos adequados, é impossível identificar o problema em seus estágios iniciais, sobretudo porque essa identificação, oportuna e preventiva, requer análise quantitativa dos faróis.

Entre o qualitativo que torna o problema sensível a olho nu, tardiamente, e o quantitativo que diagnostica o problema oportunamente, cabe reavaliar e possivelmente enrobustecer a atual base normativa, impondo ao estado de conservação dos faróis uma classificação compatível à gravidade da questão. Assim, as práticas de fiscalização e inspeção poderão valer-se de seus mecanismos para ações cabíveis, como a eventual imposição da troca de faróis degradados, desde que comprovada tecnicamente a deficiência da conservação, sobretudo mediante análise fotométrica com regloscópio [25], equipamento previsto pela NBR 14040 como parte do sistema de inspeção instrumentalizada.

Para além dos mecanismos normativos e legais, cumpre avaliar o problema em termos de conscientização dos condutores no que tange às boas práticas da manutenção, mais especificamente da conservação e vida útil de autopeças. Disseminar informação, enfatizando os riscos associados ao tema, é fundamental, sobretudo para que a proatividade em benefício da segurança não dê lugar a uma passividade penalizada por multas ou vitimada por acidentes.

REFERÊNCIAS

- [1] CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução 667**. Disponível em <https://www.denatran.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao6672017.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [2] ABNT NBR 9078:2014 **Veículos rodoviários automotores - Farol principal com lâmpada normal – Especificação**. Disponível em <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [3] ABNT NBR 9183:2014 **Veículos rodoviários automotores - Farol principal com lâmpada incandescente halógena H4 – Especificação**. Disponível em <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [4] ABNT NBR 9293:2014 **Veículos rodoviários automotores - Farol principal com lâmpada incandescente halógena (H1 - H2 - H3) – Especificação**. Disponível em <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [5] CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução 227**. Disponível em https://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_227.pdf. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [6] HELLA. Headlamp comparison. **Test report for garages**. Página 6. Disponível em https://www.hella.com/hella-ae/assets/media/HMEA_Quality-brochure.pdf. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [7] BENDLER, J. T.; LEGRAND, D.G. **Handbook of polycarbonate Science and technology**. New York: Marcel Dekker, 2000.
- [8] CHAUDHARY, B.; KUMAR, V.; SHARMA, V.; VERMA K. **Radiation Effects in Polymeric Materials**. Switzerland: Springer, 2019.
- [9] KUCKERTT, V. M.; FREIRE, E.; G. A. CARVALHO. **Avaliação das propriedades de policarbonato com aditivos anti-ultravioleta submetidos a envelhecimento acelerado**. Anais do 10o Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009. Disponível em <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/1266.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [10] Science Channel. How its made. **Car headlights**. Disponível em: <https://www.sciencechannel.com/tv-shows/how-its-made/videos/car-headlights> Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [11] HELLA. Headlamp comparison. **Test report for garages**. Página 9. Disponível em https://www.hella.com/hella-ae/assets/media/HMEA_Quality-brochure.pdf. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [12] CTB - Código de Trânsito Brasileiro. **Lei nº 13.290, de 23 de maio de 2016. Art. 40**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13290.htm#art1. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [13] INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria nº 16, de 11 de janeiro de 2013**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001959.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [14] RING. Automotive Bulbs. **A Guide to E Marking & Bulb Quality**. Disponível em <https://www.partinfo.co.uk/files/A%20guide%20to%20E%20Marking%20and%20bulb%20quality.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [15] ABNT NBR 14040-5:2017. **Inspeção de segurança veicular - Veículos leves e pesados Parte 5: Iluminação**. Disponível em <https://www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 07 de maio de 2019.

- [16] INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Escopo de acreditação número CLF 0037**. Disponível em http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/rble/detalhe_laboratorio.asp?nom_apelido=ARTEB. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [17] SYNOPSIS. **LucidShape**. Disponível em <https://www.synopsys.com/optical-solutions/lucidshape.html>. Acesso em 10 de maio de 2019.
- [18] UNECE – United Nations Economic Commission for Europe. **Regulation 37**.. Páginas 35 a 38. Disponível em <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R037r7e.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [19] UNECE – United Nations Economic Commission for Europe. **Regulation 112**. Disponível em <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R112r3e.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [20] UNECE – United Nations Economic Commission for Europe. **Regulation 37**. Páginas 23 a 25. Disponível em <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/R037r7e.pdf>. Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [21] J&M Analytik. Application Note. **Thin Layer Measurement of Car Headlight Lens Lacquer**. Disponível em <https://www.pharma-test.de/wp-content/uploads/2017/10/an-thin-layer-measurement-car-headlights-e.pdf> Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [22] CTB. Lei N°9.503, de 23 de setembro de 1997. **Art.230 XXII**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [23] CTB. Lei N°9.503, de 23 de setembro de 1997. **Art.104**. Disponível em <https://www.ctbdigital.com.br/artigo/art104> Acesso em: 07 de maio de 2019.
- [24] CONTRAN. **Resolução 716**. Disponível em <https://infraestrutura.gov.br/images/Resolucoes/Resolucao7162017.pdf> Acesso em : 07 de maio de 2019.
- [25] MAHA. **Régloscope Modèle MLT 3000**. Disponível em https://www.maha-canada.ca/cps/rde/xbcr/SID-6113D7EF-6BDCDE42/maha_de/BRO_MAHA_MLT_3000_FR.pdf Acesso em: 07 de maio de 2019.