2019

Manual de Perícia em Incêndios e Explosões
II – Conhecimentos Especificos

Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
Departamento de Ensino, Pesquisa, Ciência e Tecnologia
Diretoria de Ensino
Academia de Bombeiro Militar

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR

MANUAL DE PERÍCIA DE INCÊNDIO

CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

INCÊNDIO EM VEÍCULOS

Adaptado por:

Débora Ferreira Chaves[1]

George Lopes Palmeira Junior[2]

BRASÍLIA, 2019

[1] Cadete Débora Chaves. Aluna do Curso de Formação de Oficiais, Turma 35, 2019 – CBMDF. Bacharel em Engenharia Automotiva, 2016 – Universidade de Brasília.
[2] Capitão Palmeira. Chefe da Seção de Projetos e Pesquisa da Diretoria de Investigação de Incêndio e Perito de Incêndio. Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade de Brasília.

SUMÁRIO

1 ESTRUTURA BÁSICA DOS VEÍCULOS E PRINCIPAIS CONCEITOS 8

1.1 SISTEMAS 8
1.1.1 SISTEMA ELÉTRICO 8
1.1.2 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL 11
1.1.3 SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO 19
1.1.4 SISTEMA DE ESCAPE 21
1.1.5 SISTEMA DE TRANSMISSÃO 23
1.1.6 SISTEMA DE FREIO 25
1.2 MATERIAIS COMPONENTES DE UM VEÍCULO 26
1.2.1 METAIS 26
1.2.2 POLÍMEROS 28
1.2.3 LÍQUIDOS 30
1.2.4 ESTOFAMENTO 31
1.2.5 VIDROS 32
1.3 DIVISÃO ESTRUTURAL 34
1.4 PADRÃO DE QUEIMA 34
1.5 FOOD TRUCKS 40
1.6 METODOLOGIA DA ANÁLISE DOS MATERIAIS 40

2 FONTES DE IGNIÇÃO 41

2.1 CHAMA ABERTA 41
2.2 FONTES ELÉTRICAS 42
2.3 SUPERFÍCIES AQUECIDAS 44
2.4 FAÍSCA MECÂNICA 46
2.5 CIGARROS E CONGÊNERES 46

3 INDICADORES DE INCÊNDIO CRIMINOSO EM VEÍCULO 47

4 TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO PARA VEÍCULOS 50

4.1 INSPEÇÃO E GRAVAÇÃO DAS INFORMAÇÕES 50
4.2 CENA DO SINISTRO 51
4.3 EXAMINANDO O VEÍCULO 52
4.3.1 ESTABELECER A ZONA DE ORIGEM 52
4.3.2 EXAMINAR OS SISTEMAS DO COMPARTIMENTO DE ORIGEM. 54

5 INCÊNDIOS MAIS COMUNS EM VEÍCULOS 54

5.1 ESTUDOS DE CASO 55
5.1.1 TOYOTA - PREVIA, MODELO 1991 56
5.1.2 PONTIAC GRAND AM, MODELO 1999 57
5.1.3 SATURN SL2, 1994 61
5.1.4 VOLKSWAGEM - GOL 65

6 REFERÊNCIAS 68

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Compartimento do motor de um veículo: 1) Bateria; 2) Alternador....9
Figura 2 – Exemplo caixa de fusíveis de um automóvel 10
Figura 3 – Esquema do sistema de alimentação do combustível até o bico injetor 12
Figura 4 – Esquema de um veículo e seu sistema de injeção eletrônica.....12
Figura 5 – Esquema de veículo convertido para GNV, no qual: 1) Cilindro GNV, 2) Válvula do cilindro, 3) Tubulação de alta pressão e 4) Regulador de pressão 13
Figura 6 – Tipos de Veículos 16
Figura 7 – Legenda das Figuras 8, 9 e 10.....16
Figura 8 – Característica dos Veículos Elétricos 17
Figura 9 – Detalhe do Tipo de Veículo na Figura 8 18
Figura 10 – Detalhe do Tipo de Veículo na Figura 8 18
Figura 11 – Sistema de Lubrificação 20
Figura 12 – Funcionamento da bomba de óleo 20
Figura 13 – Componentes do sistema de escape 21
Figura 14 – Esquema de um veículo e a representação do cânister 22
Figura 15 – Sistema de transmissão 23
Figura 16 – Componentes do sistema de transmissão 24
Figura 17 – Sistema de Arrefecimento do motor).....25
Figura 18 – Funcionamento sistema de freio a disco (dianteira) e a tambor (traseira) 26
Figura 19 – Exemplo de uma estrutura de um automóvel.....27
Figura 20 – Materiais que compõem um veículo.....28
Figura 21 – Aquecimento do vidro 33
Figura 22 – Padrão de marcas de fratura no vidro por impacto mecânico: linhas radiais e concêntricas, a partir do ponto do impacto 33
Figura 23 – Marcas laterais de um vidro provocadas pelo impacto 33
Figura 24 – Veículo incendiado, Toyota Camry, após colisão e incêndio 36
Figura 25 – Compartimento do motor do Toyota Camry após colisão e incêndio 36

Figura 26 – Padrão de queima na parte inferior do capô de um veículo BMW, mostrando a concentração de calor na parte traseira do motor e no lado direito (veiculo direcionado para frente na foto).....37
Figura 27 – Padrão de queima do veículo Ford F150: a área mais clara mostra onde está a possível zona de origem do incêndio.....38
Figura 28 – Uma colisão danificou a tampa da válvula de um Ford Escort, 1995. O óleo vazou e igniu no coletor de escape quente. Os danos causados pelo incêndio foram limitados, de forma que a única evidência de incêndio estava no coletor de escape. 38
Figura 29 – Veículo Saturn SL2, após colisão traseira e incêndio. A localização provável determinada foi próxima ao tanque de combustível. O fogo se propagou rapidamente para o compartimento de passageiros através das aberturas na carroceria 39
Figura 30 – Detalhe da figura anterior do tanque de combustível através das chapas de metal 39
Figura 31 – O escapamento da viatura do CBMDF, motor diesel, chegou a 320ºC, medido com termopares 45
Figura 32 – Possíveis localizações do VIN.....51
Figura 33 – Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento do motor.....53
Figura 34 – Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento de passageiros 54
Figura 35 – Toyoto Previa após o incêndio 56
Figura 36 – Toyota Previa lateralizado, seta indicando local atingido pelo reboque.....57
Figura 37 – Detalhe da abertura feito no tanque pelo reboque no Toyota Previa, de 7 – 10 centímetros 57
Figura 38 – Pontiac Grand Am após incêndio no compartimento do motor 59
Figura 39 – Compartimento do motor do Pontiac Grand Am após o incêndio. Veículo direcionado para esquerda. Foco inicial provável na parte de trás do compartimento, lado direito marcado na foto. 59
Figura 40 – Detalhe do lado de trás do compartimento do motor no Pontiac Grand Am. As setas indicam as mangueiras de direção hidráulica .60

Figura 41 – Capô do Pontiac Grand Ama após o incêndio. Padrão de queima em direção a traseira do veículo, lado esquerdo da foto.....60
Figura 42 – Danos causados pelo calor e fumaça vistos pela parte interna do veículo 61
Figura 43 – Veículo Saturn SL2 após impacto e incêndio (porta do motorista provavelmente removida pelos serviços de emergência).....63
Figura 44 – Lado debaixo do veículo. Seta aponta o tanque de combustível na zona de esmagamento em frente ao eixo traseiro 63
Figura 45 – Parte inferior do Saturn. A seta inferior idêntica o tanque. As superiores mostram as marcas de raspagem (traseira do veículo está na parte inferior da foto).....64
Figura 46 – Danos no compartimento de passageiros. Estrutura do assento do motorista mostrada no lado direito. Seta indica a borda queimada do tanque de combustível através da abertura da chapa rasgada 64
Figura 47 – Vista através do assento do motorista (estrutura do assento em primeiro plano), através da chapa rasgada. Região do tanque de combustível plástico queimado através da abertura 65
Figura 48 – Detalhe vazamento do óleo na pista 66
Figura 49 – Detalhe do carter sem bujão 66
Figura 50 – Foto lateral do veículo 67
Figura 51 – Detalhe do compartimento do motor 67

INCÊNDIO EM VEÍCULOS

Veículos automotores são aqueles que possuem um motor de propulsão que o façam circular por seus próprios meios (BRASIL, 1997).

Essa propulsão é fornecida normalmente por um motor de combustão interna, um motor elétrico, ou uma combinação dos dois, tal como nos veículos híbridos. Para efeitos legais, veículos automotores são muitas vezes identificados dentro de um número de classes de veículos, incluindo carros, ônibus, motocicletas, veículos *off-road*, caminhões leves e caminhões regulares.

Frequentemente os peritos são acionados para ocorrências de incêndios veiculares. A investigação para determinar o foco inicial do incêndio ocorre de forma similar aos incêndios estruturais, podendo ser utilizados os padrões de queima para localizar a fonte de ignição e o primeiro material combustível. As conclusões obtidas a partir desses padrões podem ser corroboradas pelo depoimento de testemunhas, análises laboratoriais, registros de serviços que possam indicar falhas mecânicas ou elétricas, avisos de recall de fábrica, boletins de reclamações e serviços. Nos casos de queima total do veículo, torna-se mais complicado, e em algumas ocasiões, impossível determinar a origem e a causa do incêndio. Então busca-se levantar informações sobre o tipo de veículo, sua utilização, tempo de uso, estado de conservação etc.

A investigação de incêndio em veículos engloba aspectos gerais da dinâmica do fogo, combustíveis e líquidos inflamáveis, fontes de ignição e composição geral do veículo. É de extrema importância que o perito esteja familiarizado com o método científico, a estrutura básica dos veículos, a teoria de transferência de calor, as fontes de ignição mais comuns, os combustíveis e os demais componentes inflamáveis do veículo.

1 ESTRUTURA BÁSICA DOS VEÍCULOS E PRINCIPAIS CONCEITOS

Ao longo da evolução dos veículos automotores, foram agregados inúmeros componentes e acessórios, sejam eles na estrutura ou no acabamento. Entretanto, a estrutura básica permanece e apresenta o predomínio de quatro componentes básicos:

- **Estrutura ou chassi:** componente estrutural, construído em liga metálica, que fornece suporte e integra todos os componentes do veículo;
- **Motor:** componente primordial e essencial do veículo. Inclui em suas partes principais a transmissão, o sistema de fornecimento de combustível, o sistema de arrefecimento, o sistema de lubrificação, o sistema de exaustão e o motor de partida;
- **Corpo:** componente que abarca as demais partes do veículo (incluindo o interior), tal como habitáculo, estofamentos e acabamentos plásticos (console, painel, portas etc.);
- **Sistema elétrico:** componente independente que liga a fonte de energia elétrica a todas as partes que carecem de alimentação de energia da bateria, através do alternador.

1.1 Sistemas

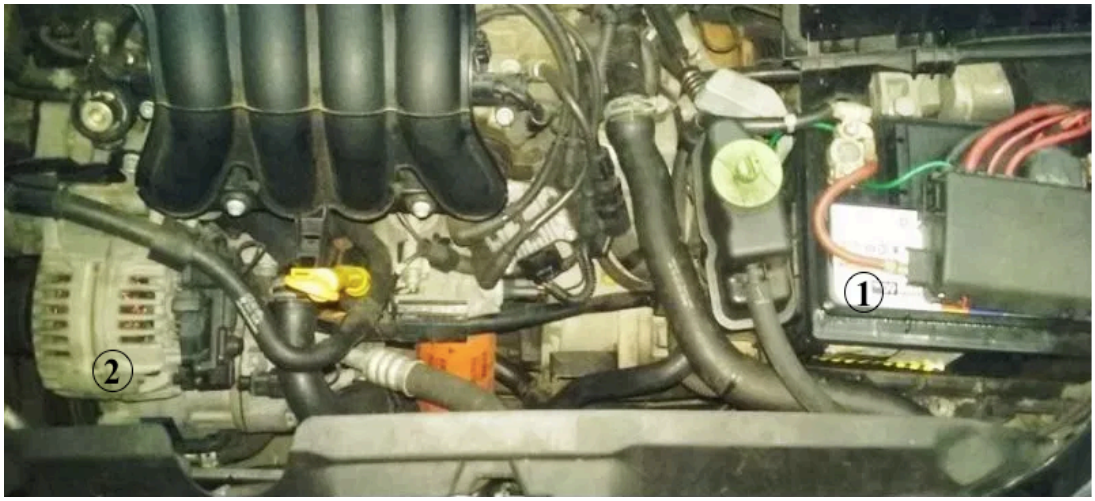
O investigador deve compreender o funcionamento básico de um veículo, de modo que consiga determinar se algum sistema não funcionou ou foi alterado, e se essa foi a causa do incêndio. Assim, os principais sistemas de um veículo automotivo serão apresentados (CBMGO, 2017; MINHA OFICINA, 2019; NFPA, 2011).

1.1.1 Sistema Elétrico

Este sistema possui uma bateria de armazenamento como sua principal fonte de energia. Ela está conectada tanto ao polo positivo como ao negativo do sistema elétrico. O motor de partida do veículo utiliza a energia da bateria e, após o arranque do motor, o alternador se encarrega de recarregá-la e alimentar os consumidores. O motor de partida é o maior consumidor do

sistema elétrico automotivo, porém só é utilizado para promover a partida do motor quando este encontra-se desligado. Depois que o motor entra em funcionamento, e este passa a funcionar por si só, o alternador desempenha o trabalho de manter todo o sistema elétrico em funcionamento (Figura 1).

Figura 1 – Compartimento do motor de um veículo: 1) Bateria; 2) Alternador.



Fonte: Ivanenko (2017), editado.

O conjunto de cabos condutores de energia é denominado chicote elétrico. Os chicotes elétricos são elementos importantes que funcionam como indicadores de problemas eletrônicos. A conectividade desses elementos é feita através de módulos eletrônicos que atuam de forma integrada nos sistemas de injeção, controle de tração, sistema de transmissão, entre outros. Os chicotes são separados por cores determinadas conforme os padrões das montadoras. Também podem ser identificados por letras, ou caso o esquema seja colorido, por letras e cores, em um sistema impresso ou digital. A capacidade de corrente dos fusíveis presentes em um chicote elétrico é conhecida a partir do seu corpo e está associada a sua cor.

A distribuição de energia em todo o veículo é realizada conectando o polo positivo de 12 volts da bateria à caixa de fusíveis e disjuntores (Figura 2), normalmente localizada na parte inferior do painel ou no compartimento do motor, que protege os circuitos de uma sobrecorrente. Na carroceira do veículo ou no chassi é conectado um fio ao polo negativo da bateria. Assim, a carroceria ou o chassi são utilizados como aterramento geral para todos os consumidores do veículo. Apenas um condutor pode ser encontrado conectado

à um dispositivo, e se um condutor energizado, sem isolamento, entra em contato com este corpo ou superfície do motor, pode haver um curto circuito.

Figura 2 – Exemplo caixa de fusíveis de um automóvel.

Fonte: Ivanenko (2018).

Considerando que a proteção de circuitos elétricos em veículos automotivos é fornecida por fusíveis e disjuntores. A instalação de equipamentos adicionais pode afetar a maneira como um dispositivo de segurança irá operar. A adição de acessórios pode sobrecarregar a fiação de fábrica, sendo que alguns desses acessórios são instalados sem nenhum dispositivo de segurança.

Fusíveis com maiores capacidades que os inicialmente dimensionados para cada condutor permitem que mais corrente passe pelos circuitos, o que pode resultar em um incêndio.

Há circuitos que também podem ser energizados quando o motor não está funcionando, uma vez que estão diretamente conectados à bateria. São esses o circuito da bateria ao sistema de ignição, o da bateria ao alternador e o da bateria ao interruptor de ignição.

Um método para determinar se o veículo estava funcionando no momento do incêndio é examinar os fusíveis de controle do motor. Em geral, se todos estiverem íntegros, o veículo não estava em movimento. Os diagramas de fiação mostrarão a cor do isolante do condutor, a localização do dispositivo e a função.

Um curto-circuito ocorre quando a corrente elétrica atravessa o condutor com resistência desprezível, causando um superaquecimento. São assim chamados porque representam o caminho mais curto que a corrente pode realizar em um circuito. Podem ser causados pelo desgaste do isolamento do condutor, por um impacto ou deterioração por contato com fluidos, permitindo que ele entre em contato com uma superfície aterrada.

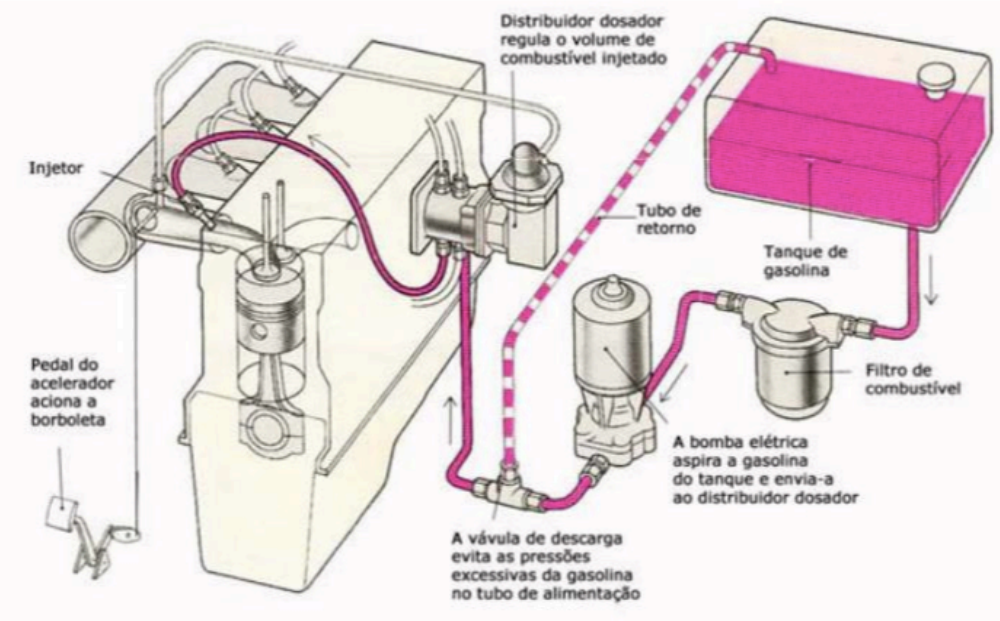
1.1.2 Sistema de Alimentação de Combustível

O sistema de combustível é composto pelo tanque de armazenamento, tubulação e bomba, responsável pelo fornecimento de combustível ao motor. Vazamentos podem ocorrer em uma linha de combustível ou no carburador, em carros mais antigos, e geralmente ocorrem dentro dos limites do compartimento do motor.

Existem dois sistemas de combustível: o de baixa pressão e o de alta pressão. O sistema de baixa pressão utiliza o quase extinto **carburador**. Este realiza a mistura do combustível com o ar, determinando a proporção correta de acordo com a aceleração do pedal. A mistura ar-combustível irá para o pistão, uma centelha será gerada pela vela, que inflamará a mistura. Vazamentos podem ocorrer nesse sistema e provocar incêndios.

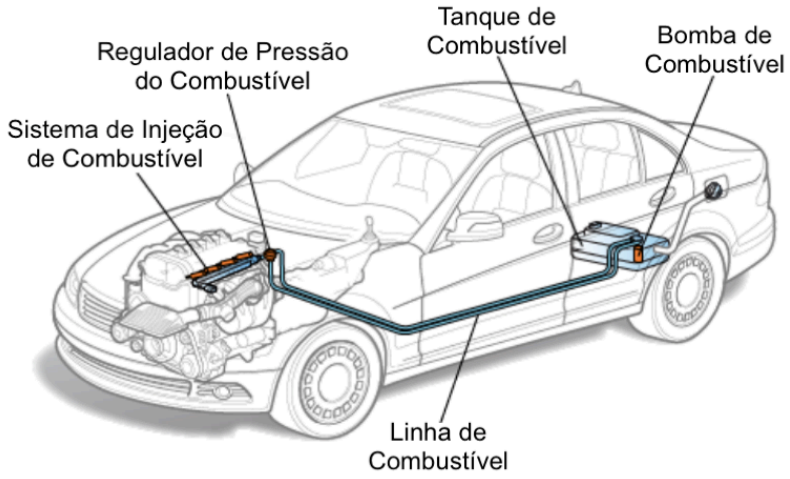
Quanto ao sistema de alta pressão, que é por **injeção eletrônica**, o combustível é pressurizado e conduzido por meio de uma bomba elétrica dentro ou perto do tanque de armazenamento de combustível (Figuras 3 e 4). Caso haja algum vazamento e uma fonte de ignição disponível, pode ocorrer um incêndio. Se uma linha de combustível é comprometida por um incêndio de outra fonte, o combustível pode contribuir significativamente para o crescimento do fogo, podendo figurar erroneamente como a causa do incêndio. Outra consideração desse sistema é que é possível que permaneça sob pressão, mesmo com o veículo desligado.

Figura 3 – Esquema do sistema de alimentação do combustível até o bico injetor.



Fonte: Costa (2002).

Figura 4 – Esquema de um veículo e seu sistema de injeção eletrônica.



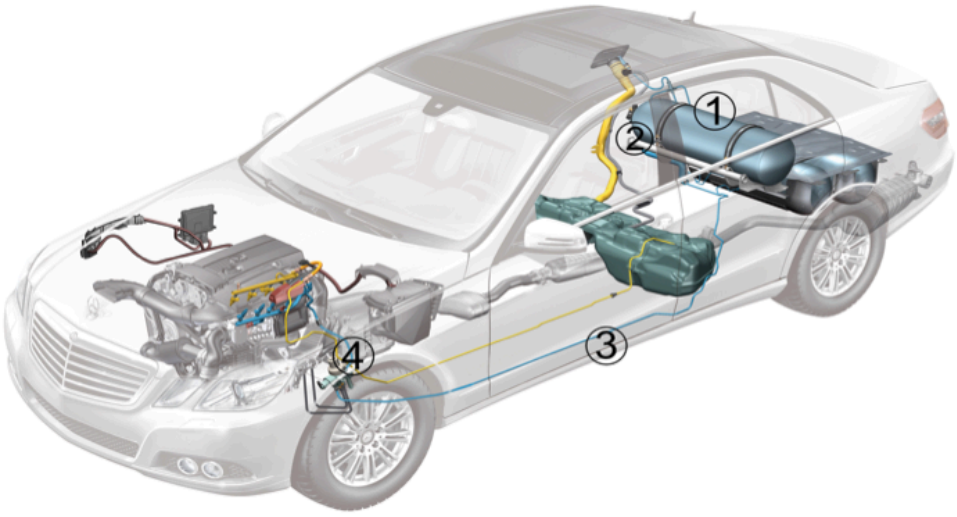
Fonte: Enright (2015), editado.

Veículos com sistemas de combustível a **Gás Natural Veicular** (GNV) são dotados de recipientes pressurizados que armazenam o combustível liquefeito, fluindo dali para um regulador de vazão e pressão. Este sistema opera sob altas pressões. Diferenças entre o coeficiente de expansão das peças que compõem o sistema podem gerar vazamentos em um incêndio, é importante uma análise detalhada do investigador para não julgar de início que essa foi a causa do sinistro.

O GNV possui densidade inferior a do ar, podendo assim, se acumular em ambientes e, devido a deslocamentos de ar, pode percorrer grandes distâncias e ser inflamado por fonte remota resultando em explosões. O gás é armazenado em cilindro de alta pressão, próximo de 200 bar a 21ºC. Este possui uma válvula de cabeça em seu gargalo, equipada com um dispositivo que interrompe o fluxo de gás caso haja uma ruptura da tubulação, excesso de pressão ou temperatura (valores próximos de 120ºC e 360 bar). Não é incomum que, devido ao aumento súbito da pressão interna, os tanques de armazenamento de combustível natural se rompam durante o incêndio.

O redutor de pressão tem a função de diminuir a pressão para próximo da pressão atmosférica, com o intuito de introduzir o gás no coletor do motor. A tubulação de alta pressão conduz o GNV da válvula de abastecimento até o cilindro de armazenamento e deste até a válvula reguladora de pressão, conforme o esquema abaixo (Figura 5).

Figura 5 – Esquema de veículo convertido para GNV, no qual: 1) Cilindro GNV, 2) Válvula do cilindro, 3) Tubulação de alta pressão e 4) Regulador de pressão.



Fonte: Mercedes-Benz. (2013), editado.

Quanto aos **Veículos Elétricos** (VEs), são aqueles que utilizam um ou mais motores elétricos, em parte ou completamente, para propulsão. O combustível é a eletricidade, que pode ser obtida de diferentes maneiras: conectando diretamente à fonte externa de eletricidade, por meio de plugs ou

utilizando cabos; recorrendo ao sistema de indução eletromagnética; a partir da reação do hidrogênio e oxigênio com água em uma célula de combustível (BARBOSA, 2016); ou por meio da energia mecânica de frenagem (frenagem regenerativa, ao se frear o veículo). Essa eletricidade, em seguida, é armazenada em baterias químicas que alimentam o motor elétrico – a exceção são os veículos elétricos a célula de combustível, que não precisam armazenar eletricidade em baterias, uma vez que o combustível necessário para mover o veículo é gerado pela reação do hidrogênio ou oxigênio com a água.

Os VEs fazem parte do grupo de veículos de “emissões zero”, pois quase não emitem poluentes (atmosférico e sonoro) na sua utilização. Além disso, a eficiência (capacidade do motor de gerar trabalho) de seus motores vai de 59% a 62%, o que os torna muito mais eficientes do que os equipados com motores de combustão interna, cuja eficiência energética situa-se entre 17% e 21% (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2019). Outra consequência de sua maior utilização é a redução da dependência dos combustíveis fósseis, em especial do petróleo. Em função disso, governos de várias regiões têm investido neste tipo de mobilidade: entre 2014 e 2016, a quantidade de VEs nas estradas duplicou.

A transição de veículos convencionais a combustão para veículos elétricos também é um caminho natural de desenvolvimento da tecnologia veicular. Quando VEs e Veículos a Combustão Interna (VCIs) atingirem paridade de custos – o que deve ocorrer na próxima década, será mais vantajoso para o consumidor ter um carro elétrico.

Os VEs podem ser de quatro tipos (GERMAN, 2015):

1. Veículos elétricos puros (BEVs, da sigla em inglês para *Battery Electric Vehicles*), cuja fonte principal de energia é a eletricidade de fontes externas. A eletricidade é armazenada em uma bateria interna, que alimenta o motor elétrico e propulsiona as rodas. Todos os BEVs são chamados também de *plug-in electric vehicles* (PEV), dado que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa – daí o termo plug-in, que em tradução literal significa “ligado na tomada”.

2. Dentro dos PEVs também se incluem os **VEs híbridos**, que são aqueles que utilizam ambos motores elétrico e a combustão interna para propulsão. Os híbridos são classificados em série (utilizam apenas o motor elétrico para mover o carro, com o motor a combustão fornecendo eletricidade ao motor elétrico) ou em paralelo (utilizam ambos os motores para propulsão) (STROKI, 2019). Os elétricos híbridos são de três tipos:

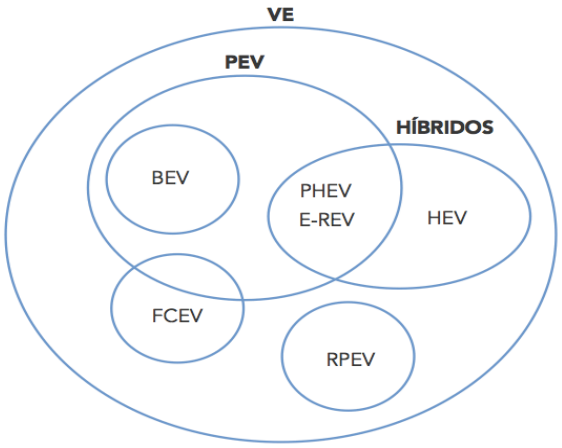
- Híbrido puro (HEV, da sigla em inglês *Hibrid Electric Vehicle*). O motor principal que propulsiona o veículo é a combustão interna. A função do motor elétrico é apenas melhorar a eficiência do motor a combustão interna ao fornecer tração em baixa potência. Logo, ele é um híbrido paralelo. A eletricidade para o motor elétrico é fornecida pelo sistema de frenagem regenerativa do veículo.
- Híbrido *Plug-in* (PHEV, da sigla em inglês *Plug-in Hybrid Electric Vehicle*), cujo motor a combustão interna também é o principal, mas eles podem, além disso, receber eletricidade diretamente de uma fonte externa. Assim como o HEV, o PHEV é um híbrido paralelo. Como também utiliza combustíveis tradicionais, quando comparado ao BEV, o PHEV geralmente garante uma maior autonomia.
- Híbrido de longo alcance (E-REV,da sigla em inglês *Extended Range Electric Vehicle*), é um híbrido em série: o motor principal é o elétrico – que é alimentado diretamente por uma fonte elétrica externa – com o motor a combustão interna fornecendo energia a um gerador, que mantém um nível mínimo de carga da bateria, fazendo com que o E-REV tenha alcance estendido.

3. Os veículos elétricos movidos a célula de hidrogênio (FCEV, da sigla em inglês *Fuel Cell Electric Vehicle*) combinam hidrogênio e oxigênio para produzir a eletricidade que fará funcionar o motor. A conversão do gás de hidrogênio em eletricidade produz somente água e calor como subprodutos, ou seja, não apresentam emissões de escape. Se comparado aos outros tipos de VEs, o FCEV tem autonomia similar aos veículos movidos a gasolina ou a diesel (300-500 km) e, portanto, superior à maioria dos VEs.

4. Adicionalmente, vale mencionar ainda os veículos elétricos alimentados por cabos externos (RPEV – *Road Powered Electric Vehicle*) que, por definição, recebem a eletricidade através de cabos externos diretamente conectados, estejam eles acima do veículo – como os *trolley buses* (trólebus) e caminhões em portos e estradas eletrificadas, como os Veículos Leves sobre Trilhos (VLTs).

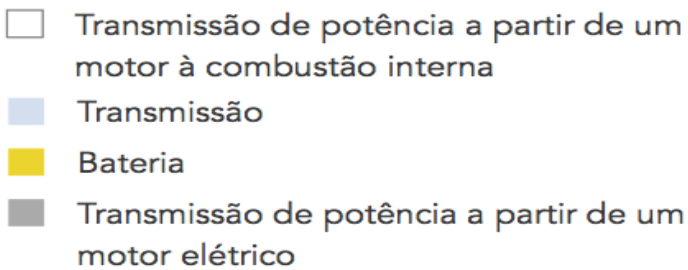
A maioria dos veículos elétricos possui baterias químicas para armazenar a eletricidade necessária para acionar o motor e mover o veículo – a autonomia (distância percorrida por recarga) de cada VE depende do tipo e modelo analisado. Os VEs mais antigos utilizavam baterias de ácido de chumbo, enquanto que os mais modernos utilizam baterias de íons de lítio. As Figuras de 6 a 10 apresentam a classificação dos veículos elétricos e principais características (FGV ENERGIA, 2017).

Figura 6 – Tipos de Veículos.



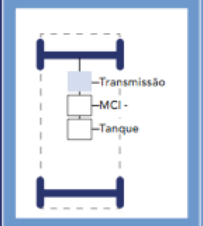
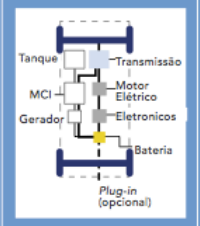
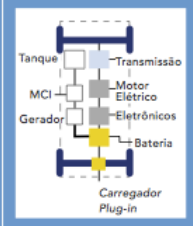
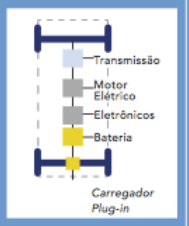
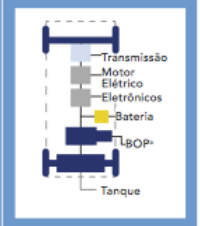
Fonte: FGV Energia (2017).

Figura 7 – Legenda das Figuras 8, 9 e 10.



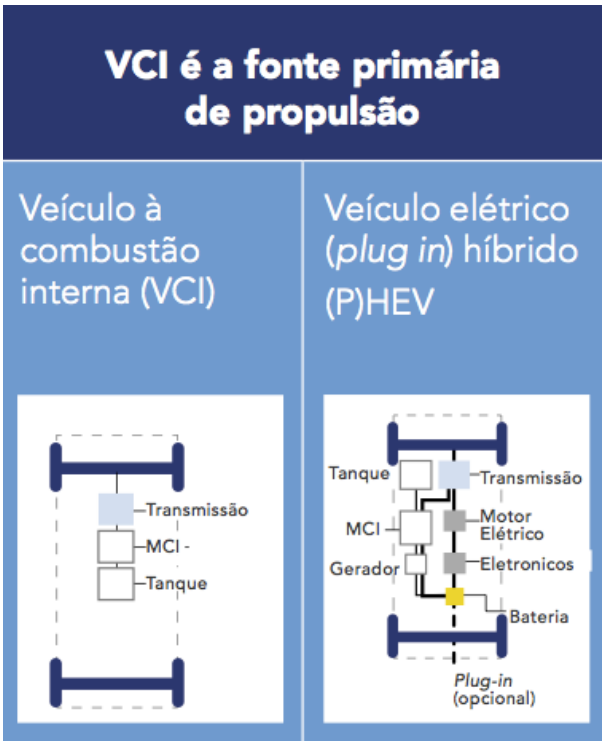
Fonte: FGV Energia (2017), editado.

Figura 8 – Característica dos Veículos Elétricos.

	VCI é a fonte primária de propulsão		**Motor elétrico é a fonte primária de propulsão**		
Tipo de veículo	Veículo à combustão interna (VCI) 	Veículo elétrico (*plug in*) híbrido (P)HEV 	Veículo elétrico com autonomia estendida (E-REV ou REX) 	Veículo elétrico à bateria (BEV) 	Veículo elétrico à célula de combustível (FCEV) 
Tipo de motor	Motor à combustão interna	Motores à combustão interna e elétrico dispostos **em paralelo**; sistema *plug in* opcional. Motor à combustão é o principal para mover o veículo, com auxílio de um pequeno motor elétrico	Motores à combustão interna e elétrico dispostos **em série**. Motor elétrico é o principal para mover o veículo, com o motor à combustão interna gerando eletricidade para o elétrico.	100% elétrico	Sistema de célula de combustível e motor elétrico, que propulsiona o veículo, dispostos **em série**.
Tipo de combustível	Fóssil ou biocombustível. Alto consumo de combustíveis e emissões de escape	Fóssil, biocombustível ou eletricidade. Melhor economia de combustível se comparado a um modelo similar à combustão interna	Eletricidade	Eletricidade	Hidrogênio ou etanol
Tipo de armazenamento elétrico	Bateria que não depende de infraestrutura elétrica	Bateria carregada através do motor à combustão interna ou por eletricidade (para híbridos *plug-in*)	Bateria é recarregada como no híbrido. Além disso, costuma ter uma bateria com menor capacidade do que o BEV	Bateria de íons de lítio com grande capacidade, recarregada por fonte externa elétrica	Célula de combustível de hidrogênio baseada na tecnologia PEM[19] (*Proton Exchange Membrane*); célula de combustível de etanol de óxido sólido (SOFC)
Autonomia	Grande autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível	Pouca autonomia elétrica, que é complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível	Autonomia elétrica média, complementada pela autonomia proporcionada pelo combustível fóssil/ biocombustível	Autonomia elétrica de pequena a média (comparada aos VCI)	Autonomia elétrica de média a alta

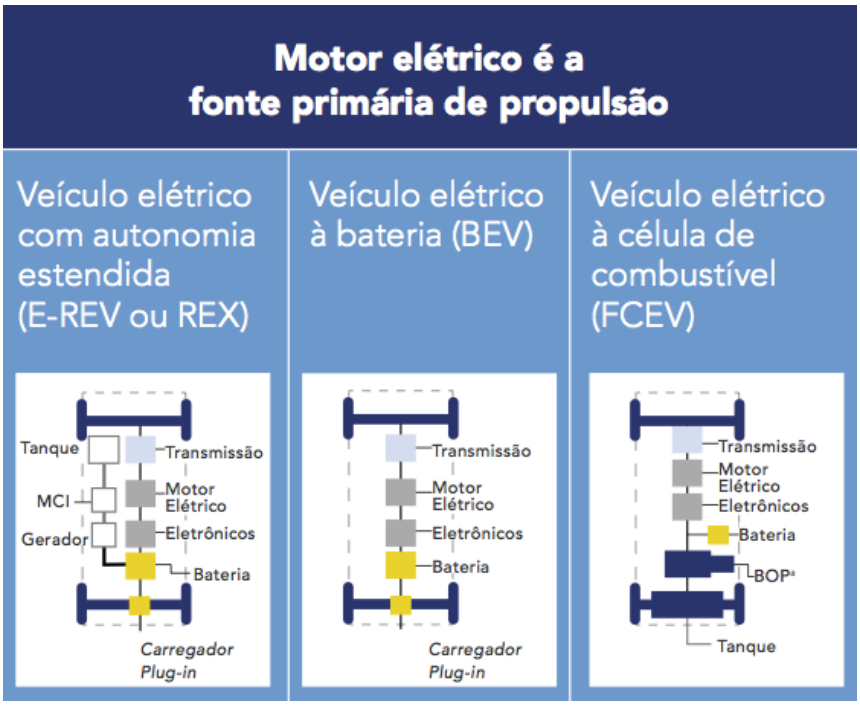
Fonte: FGV Energia (2017).

Figura 9 – Detalhe do Tipo de Veículo na Figura 8.



Fonte: FGV Energia (2017).

Figura 10 – Detalhe do Tipo de Veículo na Figura 8.



Fonte: FGV Energia (2017).

Quando comparado ao total de carros de passageiros, número que hoje é superior a 1 bilhão, o estoque mundial de carros elétricos ainda é pequeno (0,1%) apesar de todo o crescimento expansivo que teve. A *Electric Vehicles Initiative* (EVI) projeta que, em 2020, se atinja a meta de 20 milhões de carros elétricos, o que corresponderá a 1,7% do total (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016).

As baterias dos veículos elétricos são recarregadas ao se conectar o veículo a uma fonte de eletricidade externa. Os VEs também são recarregados, em parte, por meio de energia mecânica regenerativa, a partir da frenagem. Dependendo do tipo de VE, diferentes baterias podem ser consideradas:

- Hidreto metálico de níquel: disponível em modelos híbridos que utilizam tecnologia start-stop e micro-híbridos;
- Íons de lítio: disponível em modelos de BEV e híbridos;
- Cloreto de sódio e níquel: disponível em modelos de veículos elétricos pesados (caminhões, ônibus etc.) e PHEVs (EUROBAT, 2015).

Devido a seu custo reduzido e melhor desempenho, as baterias de íons de lítio têm sido mais adotadas por fabricantes de VEs.

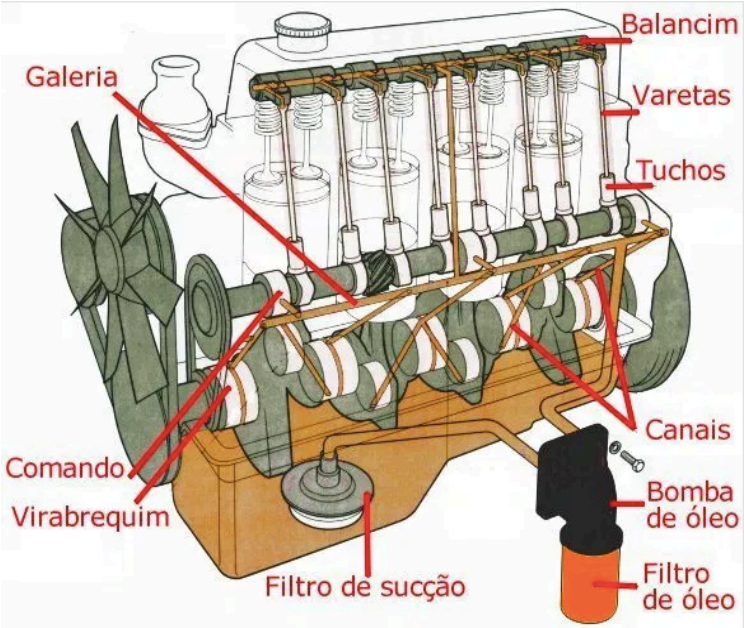
Outro ponto que a evolução tecnológica das baterias visa solucionar é a questão da segurança: baterias de íons de lítio têm maior risco de incêndio quando superaquecidas (BULLIS, 2013). O BEV Tesla Model S, por exemplo, registra alguns casos de incêndio ainda sob investigação (LAMBERT, 2016).

1.1.3 Sistema de Lubrificação

A maioria dos motores utiliza óleo de hidrocarbonetos para lubrificação. O óleo é armazenado na parte inferior do motor, o cárter, e é distribuído por uma bomba mecânica. O óleo retorna a esse reservatório por gravidade e pode escorrer nas conexões ou superfícies de acoplamento no motor (Figuras 11 e 12). Vazamentos em torno da junta do cárter, por exemplo, podem permitir que o óleo seja conduzido até o escape quente, resultando em um incêndio. A falta de óleo no motor pode causar a falha dos componentes internos. Essas falhas

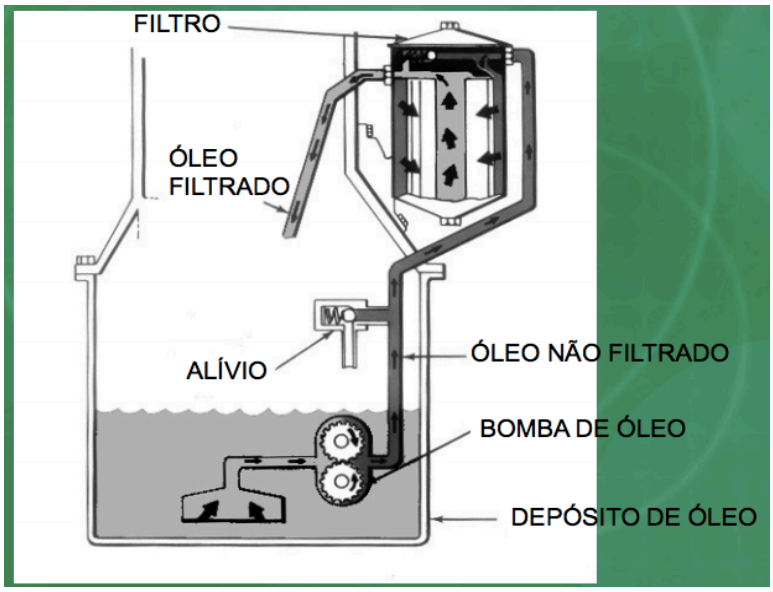
podem levar a uma falha mecânica catastrófica, que pode, por sua vez, provocar um incêndio.

Figura 11 – Sistema de Lubrificação.



Fonte: Sistema (2019).

Figura 12 – Funcionamento da bomba de óleo.



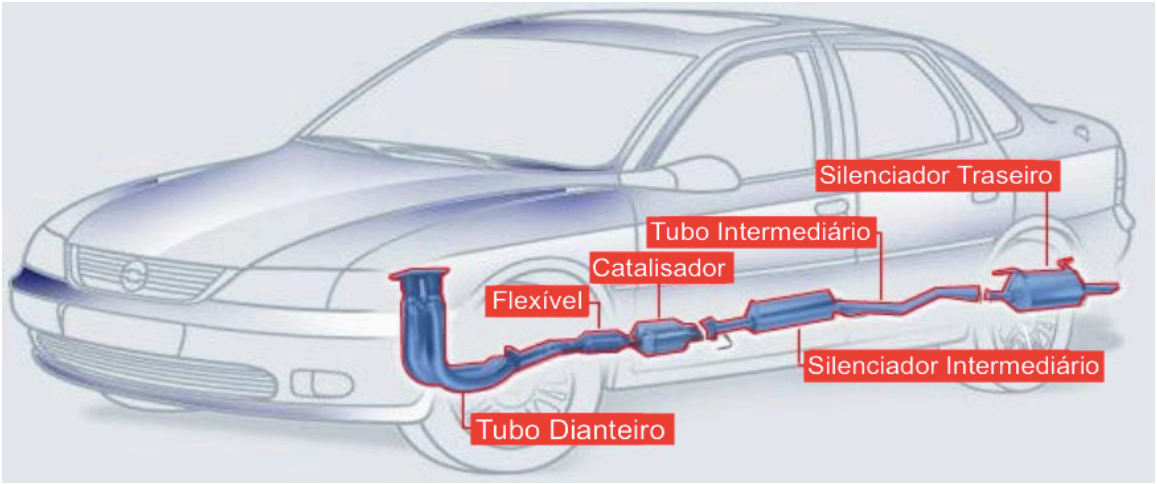
Fonte: UFRJ (2019).

1.1.4 Sistema de Escape

Os escapamentos e os componentes do sistema de escape podem gerar temperaturas suficientemente altas para inflamar o diesel e vaporizar a gasolina. O fluido de transmissão automática, especialmente, se aquecido devido a uma transmissão sobrecarregada, pode inflamar-se em uma superfície quente, inclusive após o veículo ser desligado. Esta ignição é devido à perda de fluxo de ar através do compartimento do motor, que dispersa esses vapores e resfria superfícies quentes do motor. Quando o motor é desligado, o fluxo de ar cessa, e as temperaturas do coletor podem subir. O que pode ser suficiente para inflamar vapores de fluidos.

Os componentes internos de um conversor catalítico, catalisador (Figura 13), o qual tem o objetivo de reduzir a quantidade de poluentes emitidos no ambiente pela descarga dos gases do motor, atingem temperaturas de operação de aproximadamente 700°C em operação normal e podem ser muito maiores em virtude do mau funcionamento do sistema de ignição ou de alimentação. As temperaturas externas desses conversores podem atingir 315°C em condições normais e podem se tornar maiores quando a ventilação ou a circulação do ar estiverem restritas. Na maioria dos veículos, a superfície do tubo do conversor catalítico funcionará mais quente que o próprio conversor.

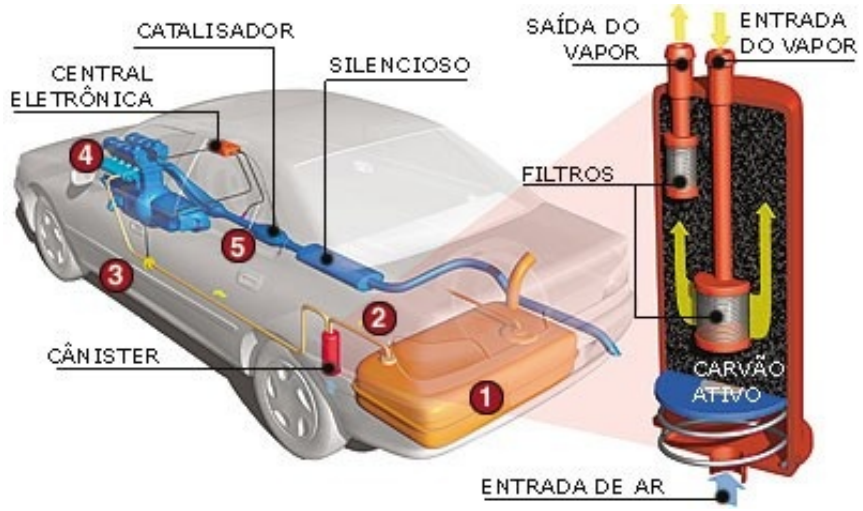
Figura 13 – Componentes do sistema de escape.



Fonte: Guerra (2014), editado.

A maioria dos veículos a motor está equipada com alguma forma de controle de emissão. Este sistema controla as emissões de gases de escape e coleta os vapores da gasolina. Os principais componentes deste sistema estão localizados no compartimento do motor, composto por uma variedade de mangueiras de vácuo de borracha e sensores que se interagem com o computador de bordo. A válvula EGR recircula uma porção dos gases de escape, de modo que o motor aqueça mais rapidamente sem colocar vapores ricos em combustível na atmosfera. Um problema potencial é o vazamento de vapor do cânister ou das mangueiras de vapor (Figura 14). Estes vapores podem viajar por todo o compartimento do motor e, se uma fonte de ignição estiver presente, eles podem inflamar.

Figura 14 – Esquema de um veículo e a representação do cânister.



Fonte: Martins (2014).

O **coletor de escape** é aparafusado diretamente ao motor. É o coletor para os gases de escape provenientes de cada cilindro. Um vazamento na tampa da válvula ou na junta pode permitir que o óleo do motor entre em contato com o coletor, o que pode resultar em ignição.

A frente do coletor é uma das partes mais quentes do sistema de escape. Temperaturas de 343°C podem ser encontradas em um funcionamento normal. Se o motor estiver falhando, essas temperaturas podem aumentar significativamente. O restante do sistema de escape é composto pelo silenciador e pela tubulação. Um perigo potencial em um veículo a motor de

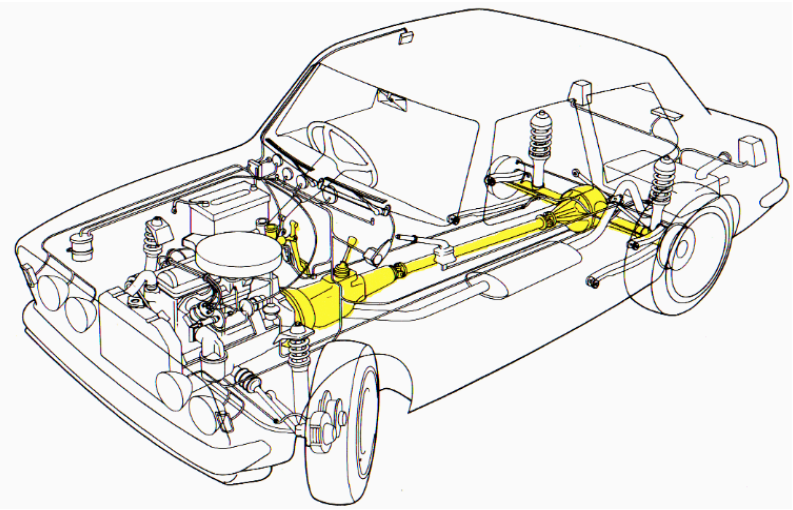
operação normal é o contato com itens combustíveis, como grama alta ou detritos, com superfícies de escape e conversores catalíticos. Um mau funcionamento no motor pode fazer com que o conversor catalítico aqueça o suficiente para inflamar a camada inferior e o revestimento interior.

Alguns veículos possuem o **turbocompressor**, que também é um componente que apresenta temperaturas elevadas. Ele usa os gases de escape para propulsão de uma turbina que melhora da potência do motor, uma vez que aumenta a quantidade de ar que está sendo forçada para o cilindro. O calor criado pode inflamar combustíveis ou outros materiais inflamáveis. Um vazamento de óleo de um turbocompressor pode aumentar sua temperatura de operação e pode ser o primeiro combustível em um incêndio.

1.1.5 Sistema de Transmissão

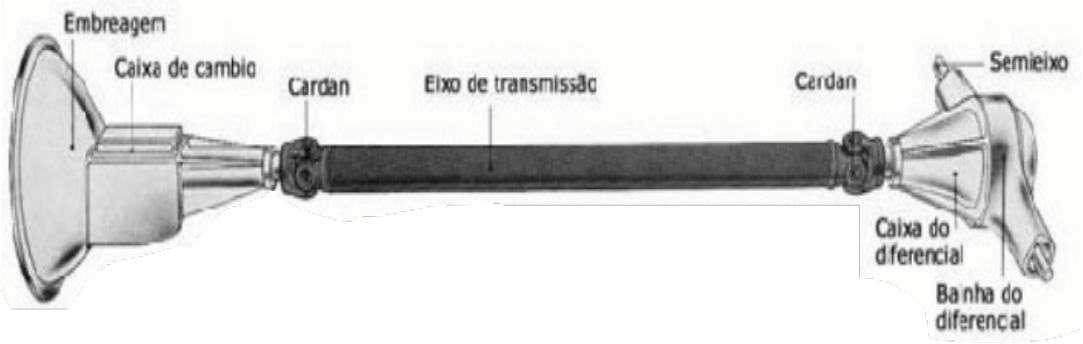
A entrega da potência mecânica produzida pelo motor às rodas motrizes é realizada pelo sistema de transmissão (Figuras 15 e 16). Para manter a função adequada de um motor de combustão interna, todas essas peças devem permanecer firmemente presas, e muitas exigem lubrificação ou refrigeração.

Figura 15 – Sistema de transmissão.



Fonte: Carros Infoco (2015).

Figura 16 – Componentes do sistema de transmissão.



Fonte: EEEP (2019).

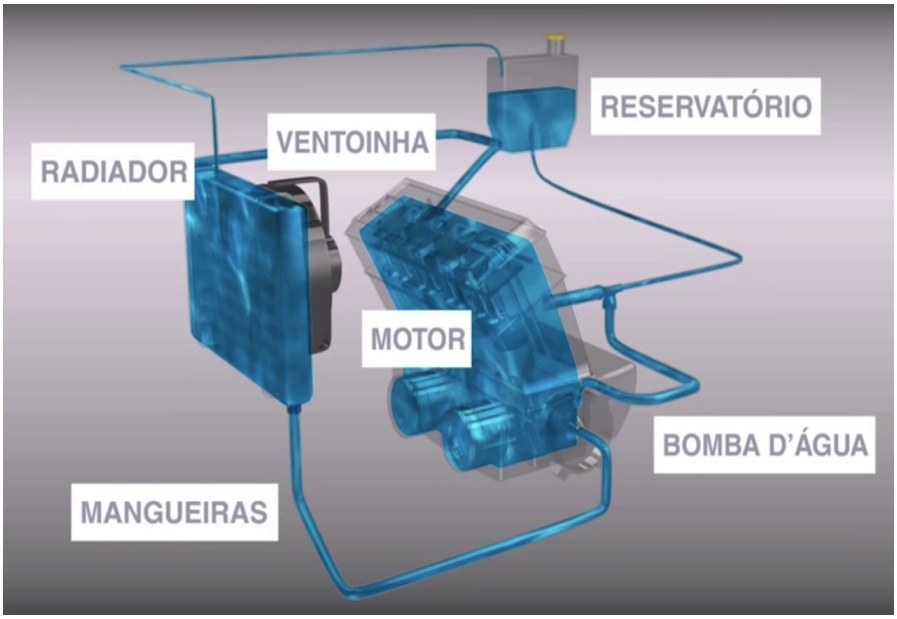
As falhas mecânicas do conjunto de embreagem, o qual transfere a potência do motor, podem ser tão catastróficas quanto as do motor. Podem ocorrer vazamentos de lubrificantes de transmissão na área do sistema de escape. No caso de transmissão hidráulica, a energia do motor é recebida por um conversor de torque, que permite que o motor funcione sem que o veículo se mova. À medida que a rotação do motor aumenta, o fluido não pode fluir em torno das palhetas e a energia é transferida para a transmissão.

O fluido usado em transmissões automáticas requer resfriamento, o qual é realizado normalmente roteando o fluido através de um resfriador no radiador do motor. O excesso de enchimento pode fazer com que o fluido seja expulso do tubo da vareta, o que frequentemente está sobre o coletor de escape. A expulsão de fluidos também pode resultar da operação da transmissão sob carga pesada ou da adição de um fluido equivocado à transmissão.

O arrefecimento do motor é realizado com líquido ou ar. Os veículos a motor refrigerados a líquido usam um sistema fechado que consiste em passagens através do bloco do motor, uma bomba de água, mangueiras, termostato e um radiador. À medida que o motor atinge a sua temperatura de operação normal, o refrigerante no motor também aquece. Este refrigerante é circulado através do sistema pela bomba de água. Quando o líquido de arrefecimento atinge uma temperatura predefinida (tipicamente na faixa de 80°C a 90°C), o termostato se abre, permitindo que ele flua para o radiador. Este é um permutador de calor, composto por uma série de pequenos tubos, conectados entre dois tanques. Um ventilador é usado para fornecer fluxo de ar

a baixas velocidades ou quando o veículo está parado. Esquema representado na Figura 17.

Figura 17 – Sistema de Arrefecimento do motor.



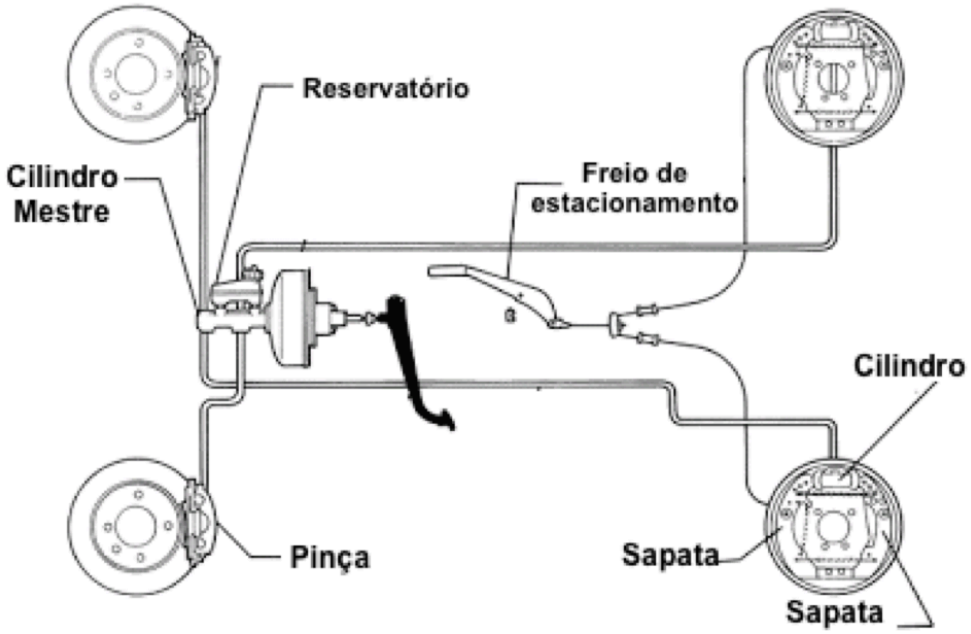
Fonte: Funcionamento (2016).

Os motores refrigerados a ar usam um ventilador e dutos para mover o ar ao redor do motor. Esses ventiladores são tipicamente acionados por correia. Caso esta se rompa, poderá ocorrer o superaquecimento do motor, ocasionando uma falha no motor.

1.1.6 Sistema de Freio

O sistema de freios hidráulicos é ativado por um pedal conectado a um cilindro mestre. Este cilindro mestre está interligado por uma tubulação de metal aos cilindros servos ou às pinças. Pressionar o pedal do freio produz maior pressão no sistema de frenagem, que é transmitido para os cilindros das rodas, se freio do tipo tambor, ou às pinças, se a disco (Figura 18). Os sistemas de freio funcionam sob altas pressões, e mesmo um pequeno vazamento pode produzir um jato que pode ser inflamado ao entrar em contato com uma fonte de ignição.

Figura 18 – Funcionamento sistema de freio a disco (dianteira) e a tambor (traseira).



Fonte: Krempel (2015).

1.2 Materiais componentes de um veículo

1.2.1 Metais

O aço é o principal material presente nos veículos, devido às suas propriedades, dentre elas a alta resistência e maleabilidade, e compõe em média mais de 50% do seu peso. Ele está não só na estrutura do automóvel (Figura 19), como também em diversos componentes, tais como, motor, elementos dos sistemas de suspensão, direção, freio e transmissão. O aço é um bom condutor térmico, dessa forma, quando aquecido transfere energia através da condução, assim, mesmo não sendo o primeiro a entrar em ignição, irá contribuir na propagação do calor, e deixará marcas pela estrutura que poderão auxiliar o perito a determinar a origem e causa do incêndio.

Figura 19 – Exemplo de uma estrutura de um automóvel.

Fonte: Meccia (2017), editado.

Outro material presente em um veículo automotivo é a liga de alumínio. Este elemento é muito utilizado na indústria automotiva devido à alta relação resistência mecânica/peso, o que permite maior economia de carga, menor consumo de combustível e menor desgaste. Em veículos automotivos comerciais, o alumínio é utilizado em carrocerias, além de peças como pistões, blocos de motores, caixas de câmbio, chassis e acessórios (ABAL, 2017). Assim como o aço, o alumínio é um bom condutor térmico e irá contribuir na propagação do calor, e quando aquecido deixará marcas na estrutura, as quais auxiliarão o perito a determinar a origem no incêndio.

A Tabela 1 abaixo apresenta os pontos de fusão de alguns metais constituintes de um veículo:

Tabela 1 – Temperatura de Fusão dos metais comumente encontrados em motores de veículos.

Metal	Temperatura de Fusão [ºC]
Ligas de Alumínio	566 – 650
Cobre	1.082
Ferro fundido	
Cinzento	1.350 – 1.400
Branco	1.050 – 1.110

Fonte: NFPA (2011).

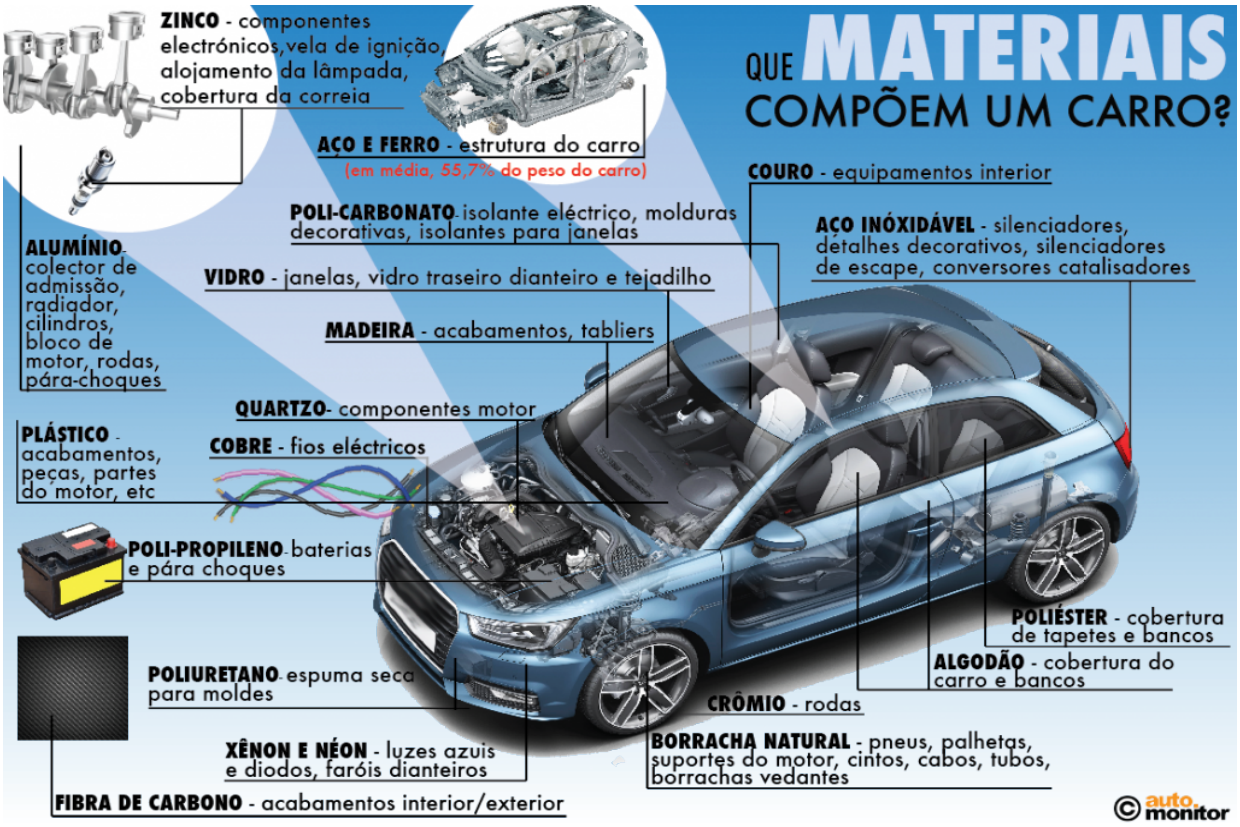
O alternador normalmente resiste a altas temperaturas, assim, em um incêndio no compartimento do motor, seu derretimento indica que, provavelmente, o incêndio iniciou nele.

1.2.2 Polímeros

Outros combustíveis sólidos encontrados em um automóvel estão representados na Figura 20 e Tabela 2. Pode-se verificar que os polímeros estão muito presentes em diversos componentes do veículo, tais como, bateria, para-choque, pneus, tapetes, estofamento, acabamentos, isolantes de janelas.

Os materiais plásticos não representam um risco significativo de incêndio, mas uma vez que o incêndio tenha iniciado, servirão como uma boa fonte de combustível. Podem queimar com taxas de liberação de calor semelhantes às dos líquidos de hidrocarbonetos inflamáveis, podendo ainda cair inflamados ou derreter e ter comportamento semelhante aos líquidos inflamáveis.

Figura 20 – Materiais que compõem um veículo.



Fonte: Auto Monitor (2015).

Tabela 2 – Plásticos encontrados em veículos automotores.

Material	Temperatura de Ignição [ºC]	Temperatura de Fusão [ºC]	Local no veículo
Fibras Acrílicas	560	90 – 105	Carpete
ABS	410	88 – 125	Partes da carroceria
Fibra de Vidro (resina poliéster)	560	428 – 500	A resina queima, mas não as partes de vidro
Nylons	413 – 500	220 - 265	Acabamento, engrenagem da janela, engrenagem, sistema do ar condicionado, estrutura
Policarbonato	440 – 522	265	Painel, estrutura, faróis
Polietileno	270 – 443	115 – 137	Isolamento de fio, tanque de combustível, protetor da bateria, tampa da bateria
Polipropileno	250 – 443	160 – 176	Ressonador, estrutura, dutos de ar, sistema do ar condicionado, tampa da bateria
Poliestireno	346 – 365	120 – 240	Isolamento, estofamento e acabamento
Poliuretano	271 – 378	120 – 160	Assentos, apoios de braços, estofamento, acabamento
Vinil (PVC)	250 – 430	75 – 105	Isolamento de fio, estofamento, sistema de ar condicionado, isolamento do compartimento do motor

Fonte: NFPA (2011).

Observa-se que a temperatura de ignição de alguns polímeros pode ser atingida, por exemplo, ao entrar em contato com o sistema de exaustão aquecido. Desse modo, um incêndio pode ocorrer se o isolamento de uma fiação ou outras peças poliméricas entrarem em contato com componentes do sistema de exaustão durante o funcionamento do veículo ou em uma colisão.

É importante conhecer um pouco dos materiais poliméricos, uma vez que eles podem prejudicar a interpretação das evidências do incêndio, em virtude da diferença nas propriedades de cada tipo de polímero. Assim, o dano provocado pelo fogo em partes próximas pode ter sido causado pela diferença na resistência à chama dos polímeros envolvidos e não pelas características do fogo. A identificação dessas diferenças pode ser investigada por meio de testes controlados (SHIELDS; SCHEIBE, 2009).

1.2.3 Líquidos

Quanto aos combustíveis líquidos, grande parte das misturas líquidas em um veículo são inflamáveis sob certas condições, caso a temperatura seja suficiente para vaporizar o fluido, se a mistura com oxigênio for suficiente para que ocorra a combustão e se houver uma fonte de ignição suficiente presente para o dado combustível. Situações que podem ocorrer em um mau funcionamento de algum sistema do veículo, em um acidente envolvendo liberação de combustível, por exemplo (NFPA, 2011; SHIELDS; SCHEIBE, 2009).

Os principais combustíveis líquidos presentes em um automóvel são os seguintes: gasolina, álcool, fluido refrigerante, óleo do motor, óleo do câmbio, fluido da direção hidráulica, e fluido de freio. É interessante ressaltar que é pouco provável um fluido por si só atingir a temperatura suficiente para entrar em ignição, em uma situação normal de funcionamento, entretanto, se o veículo possuir alguma alteração ou estiver envolvido em um acidente, por exemplo, há chance do fluido presente inflamar e propagar o fogo para materiais adjacentes.

Em uma colisão, cada sistema de fluido deve ser examinado quanto aos danos e possíveis vazamentos. Em um incêndio em que não houve colisão, odores e manchas de pavimento onde estava estacionado o veículo, descrições das testemunhas sobre o fogo e padrão da queima podem ajudar a diferenciar os fluidos ao apontar possíveis origens para o fogo.

Ainda com relação a diferenciação dos fluidos, situações baseadas em relatórios e experiências podem ser estudadas e levadas em consideração. Estudos mostram que a gasolina não se incendeia facilmente em uma superfície quente, como um coletor de escape. No entanto, uma vez que a combustão foi iniciada, um incêndio em gasolina queima com maior intensidade do que em muitos outros combustíveis e tende a se propagar rapidamente. Quanto aos óleos do motor, da direção hidráulica e da transmissão, eles tendem a inflamar facilmente em superfícies quentes e por faísca, e são capazes de manter um pequeno incêndio por algum tempo sem que ele propague. No que diz respeito aos fluidos refrigerantes, testes realizados mostraram que eles se inflamam facilmente em superfícies quentes, mas não se mantêm por tempo suficiente para propagar o fogo, assim são considerados o de menor probabilidade de alastrar um incêndio (SANTROCK, 1998).

1.2.4 Estofamento

Atualmente, as normas de segurança preveem menor combustibilidade para o compartimento de passageiros.

A resolução Nº 498-DENATRAN, DE 29 de julho de 2014, indica que, a partir de 1º de janeiro de 2015, todos os veículos, independentemente de sua capacidade de lotação, deverão apresentar velocidade de propagação de chama de, no máximo, 100 milímetros por minuto, padrão mais rigoroso do que a norma americana que indica os níveis de inflamabilidade de materiais do interior de veículos (FMVSS 302), que permite até 102 mm/min.

Alguns veículos de luxo são construídos com materiais retardantes à chama, dificultando a propagação de um fogo inicial por falha operacional. Consequentemente, o esperado padrão “V” de queima pode não ficar claro ao perito em incêndio e explosões.

Ainda assim, segundo Barnett (2013), testes revelaram que, nos veículos que seguem a FMVSS 302, uma combustão lenta (*smoldering*), demora, em média, entre 90 e 120 minutos para eclodir um incêndio.

Segundo a NFPA 921 (item 25.4.5), uma vez iniciada a combustão, a espuma de uretano, material típico nos assentos dos veículos norte-americanos, aumenta substancialmente a intensidade de um incêndio no veículo.

1.2.5 Vidros

A Resolução do CONTRAN Nº 254/2007 exige que somente o vidro do para-brisa seja laminado. Assim, é mais comum encontrar vidros temperados nas laterais e na traseira do veículo.

Geralmente, os vidros comuns se rompem a 70 ºC. Entretanto, cada tipo de vidro se comportará de modo diferente, frente a um aumento súbito de temperatura.

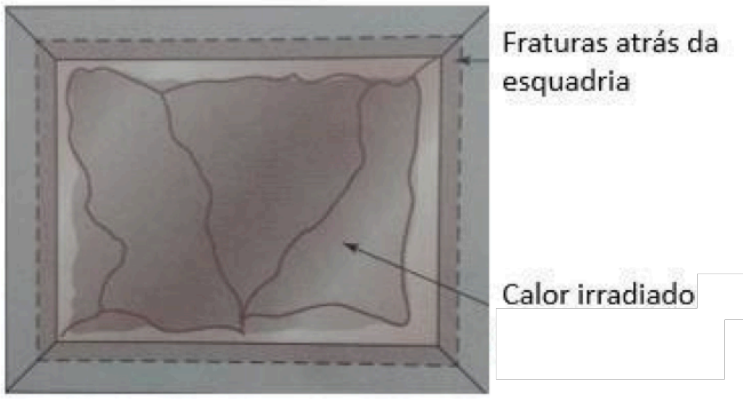
No vidro laminado, constituído de duas lâminas separadas por uma película polimérica, o aumento súbito de temperatura pode fazer com que essa película forme bolhas, de modo a provocar rachaduras nas lâminas. É de se esperar que, posteriormente, tal vidro venha se descolar da esquadria e caia sobre o painel, considerando a inclinação negativa do para-brisa.

Já no vidro temperado, esse aumento súbito faz com que estilhace, em pequenos “cubos”, podendo cair dentro do carro, quando não houver sobrepressão advinda da fumaça gerada em seu interior, ou para fora do veículo, quando houver.

Em ambos tipos de vidro, o aumento gradativo e lento da temperatura pode causar o derretimento, o que ocorrerá entre 700 e 800 °C.

É importante saber distinguir as marcas nos vidros provenientes de um aquecimento (Figura 21) e das provocadas por um impacto mecânico (Figuras 22 e 23), sendo inviável fazer qualquer distinção se o vidro estiver derretido. Por vezes, será necessário analisá-lo em microscópio laboratorial.

Figura 21 – Aquecimento do vidro.

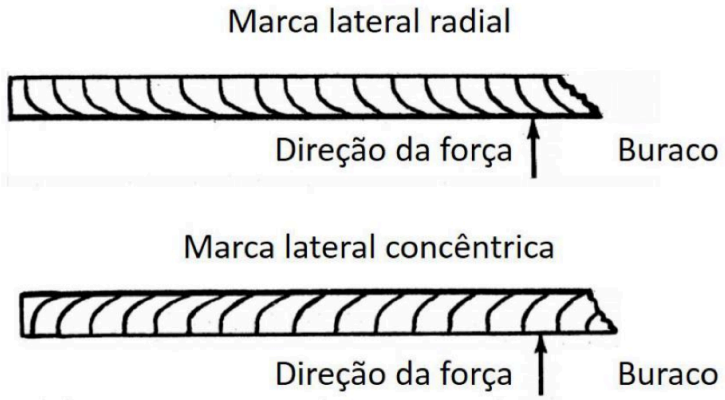


Fonte: DeHaan (2007).

Figura 22 – Padrão de marcas de fratura no vidro por impacto mecânico: linhas radiais e concêntricas, a partir do ponto do impacto.

Fonte: Para-brisa (2019).

Figura 23 – Marcas laterais de um vidro provocadas pelo impacto.



Fonte: TEAF (2012).

1.3 Divisão estrutural

A Norma Reguladora Nº 004/2011 do CBMDF (2011) divide o veículo em 3 partes: compartimento do motor, de passageiros e de carga.

Com o objetivo de auxiliar o perito, apresenta-se uma subdivisão dessa estrutura apresentada, a qual considere os diversos componentes do veículo. Essa divisão é proposta, uma vez que os diferentes componentes se comportam de forma única dependendo do material, assim, o perito deve se atentar para cada elemento.

- **Compartimento do motor:** Motor (bloco do motor, cabeçote e cárter), velas, motor de partida, correia dentada, alternador e correia, compressor do ar-condicionado, bateria, caixa de fusíveis (depende do veículo, pode estar no compartimento de passageiros), filtro de ar, radiador e ventoinha, reservatórios (do fluido de arrefecimento, do para-brisa, da direção hidráulica, do freio), parte elétrica (cabos do farol, da bateria, do motor de partida, das velas), sistema de injeção de combustível ou carburador, central eletrônica.
- **Compartimento de passageiros:** painel, volante, bancos e encosto da cabeça (estrutura metálica, estofamento), motor e acessórios do limpador de para-brisa, carpete, cabo do capô, caixa de fusível (depende do veículo, pode estar no compartimento do motor), comando elétrico geral, dutos do ar-condicionado, ventilador.
- **Compartimento de carga:** estepe e acessórios (triângulo, chave de roda, macaco).

1.4 Padrão de Queima

A investigação de incêndios veiculares geralmente envolve a interpretação de padrões de queima ou danos causados pelo calor no corpo do veículo, no compartimento do motor, no compartimento do passageiro (interior) ou no espaço de carga. Tais padrões podem fornecer indícios sobre a origem, causa ou caminho de propagação do incêndio. No entanto, o uso desses padrões pode ser enganoso e sua interpretação deve ser usada com cuidado.

É importante relembrar que a zona de origem é definida como a área estabelecida pelo perito, dentro do cenário do incêndio, na qual o fogo teve início. No caso de incêndio veicular, seria algum compartimento do automóvel (do motor, de passageiros e de carga). Já o foco inicial é determinado como o menor local dentro da zona de origem em que o incêndio teve inicio. E a fonte de ignição é a fonte com energia suficiente que em contato com um material combustível possa levá-lo a atingir a temperatura de ignição.

Áreas com incidência de calor elevado em um incêndio, como nos locais em que todos os vestígios de tinta foram queimados (e o metal costuma enferrujar) podem fornecer pistas sobre a origem do fogo. É possível verificar esses indícios principalmente se um veículo não tiver sido queimado em sua totalidade. Quanto mais limitados os danos causados pelo fogo (por extinção própria ou externa), maior o potencial de identificação da sua origem com base nos padrões de incêndio. Obviamente, se o fogo estiver restrito a uma pequena área, a origem do fogo provavelmente se encontrará nessa região.

A interpretação dos padrões de incêndio para fins de identificação de origem e causa deve sempre ser considerada juntamente com outras evidências, incluindo observações, declarações de testemunhas, resultados de testes analíticos e o histórico de operação e reparo do veículo.

Esta seção fornecerá exemplos da interpretação do padrão geral de incêndio e danos causados por incêndio em componentes individuais.

Incêndio a partir de colisão mostrado nas Figuras 24 e 25: o fogo se espalhou do motor para o interior e o calor irradiou para fora das janelas dos passageiros. Além disso, houve menos danos por queimadura externa na área inferior das portas traseiras.

Figura 24 – Veículo incendiado, Toyota Camry, após colisão e incêndio.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 25 – Compartimento do motor do Toyota Camry após colisão e incêndio.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Uma identificação confiável do compartimento do motor como a zona origem foi possível neste exemplo, com base nos seguintes itens:

- As deformações de colisão foram limitadas ao compartimento do motor. É provável que o fogo tenha começado dentro e ao redor de um sistema danificado.
- O dano devido ao incêndio no compartimento do motor foi quase total. No compartimento de passageiros foi progressivo da frente para trás. Se

o incêndio tivesse iniciado no compartimento de passageiros, provavelmente teria sinais de propagação de trás para frente a partir da origem.

- As observações das testemunhas foram consistentes com o início do incêndio no compartimento do motor. Mesmo sem as declarações das testemunhas, a identificação de uma origem no compartimento do motor era fundamentada.

Nos casos de danos limitados provocados pelo incêndio, o padrão de queima indica melhor a origem do fogo. Quanto mais extensos os danos, menor a probabilidade da informação ser precisa e maior a área identificada como origem do incêndio. As Figuras 26, 27 e 28 trazem alguns exemplos de padrões de queima.

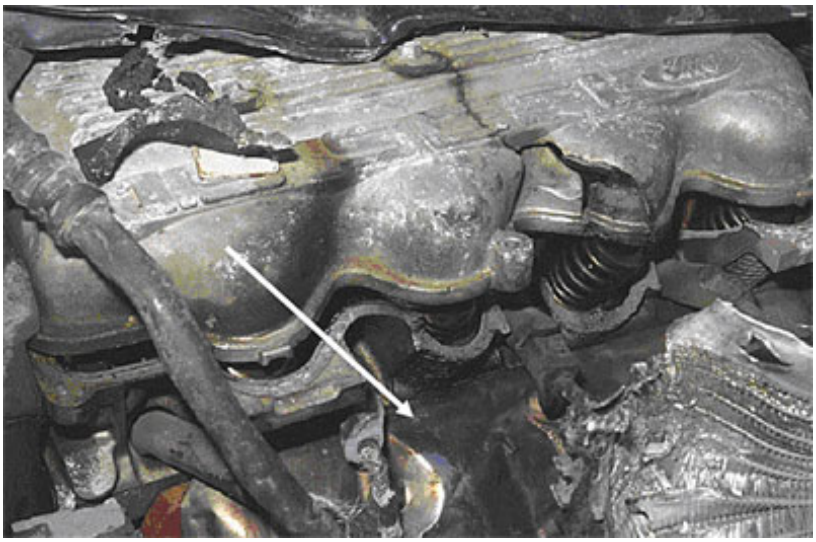
Figura 26 – Padrão de queima na parte inferior do capô de um veículo BMW, mostrando a concentração de calor na parte traseira do motor e no lado direito (veículo direcionado para frente na foto).

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 27 – Padrão de queima do veículo Ford F150: a área mais clara mostra onde está a possível zona de origem do incêndio.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 28 – Uma colisão danificou a tampa da válvula de um Ford Escort, 1995. O óleo vazou e igniu no coletor de escape quente. Os danos causados pelo incêndio foram limitados, de forma que a única evidência de incêndio estava no coletor de escape.



Fonte: Shields; Scheibe (2009).

O investigador também deve estar ciente de que, em casos em que os danos causados pelo incêndio são extremos, e mesmo em alguns casos com queima limitada, o local com maior dano não é necessariamente a zona de origem do incêndio. Se o fogo começar em uma região com relativamente pouco material consumível e depois se propagar para uma área com uma

grande quantidade de combustível, líquidos inflamáveis ou polímeros, por exemplo, essa área secundária parecerá ser a zona de origem. Situação exemplificada nas Figuras 29 e 30.

Na Figura 29, o local provável da ignição foi próximo ao tanque de combustível. O fogo se propagou rapidamente para o compartimento de passageiros através das aberturas na carroceria (Figura 30)

Figura 29 – Veículo Saturn SL2, após colisão traseira e incêndio.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 30 – Detalhe da figura anterior do tanque de combustível através das chapas de metal.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

1.5 Food Trucks

O perito em incêndio e explosões deve, primeiramente, assegurar-se sobre qual atividade é desempenhada no veículo sinistrado: se há somente o armazenamento e comercialização de comidas prontas ou se há o processamento de comidas.

Segundo o SEBRAE (2016), a maioria dos *food trucks* são dotados dos seguintes equipamentos: gerador elétrico, fogão e geladeira industriais, compartimento de gás (geralmente são dois botijões instalados abaixo do fogão), um tanque para detritos, um exaustor e um reservatório para armazenar água com capacidade para 50 litros.

Ainda, pode conter: fornos elétricos, micro-ondas, chapa e fritadeira, computador, caixa registradora, ar-condicionado, geladeira e *freezer*, multiprocessador de alimentos, espremedor de frutas, liquidificador industrial, balança eletrônica, alarmes e câmeras, entre outros.

Os armários, pia, compartimentos, fogão, geladeira, coifa, entre outros, são de aço inox, o que contribui para o retardamento das chamas.

O gerador é movido a gás ou outro combustível e deve ficar separado do compartimento do gás, sendo calculado conforme a demanda do estabelecimento.

As fontes de ignição, portanto, podem ser por: contato com chama aberta, fenômeno elétrico ou contato com superfície quente.

1.6 Metodologia da Análise dos Materiais

Barnett (2013) propõe uma metodologia ordenada para análise dos materiais de um veículo sinistrado:

1. Definir os tipos de materiais empregados na construção do veículo - Se for de luxo, haverá mais nanocompósitos poliméricos e, portanto, menor chance de propagação sem uso de acelerantes;

2. Definir o foco inicial - Estabelecer, dentro da zona de origem, a área do foco inicial, por meio dos padrões de queima;
3. Definir a taxa de liberação de calor e da temperatura de ignição dos metais e compósitos poliméricos - Podem ser utilizados catálogos de taxas de liberação de energia de diferentes materiais ou realizar testes para sua catalogação, bem como um bico de Bunsen. O tempo também pode ser uma importante variável. Então, coleta-se igual material do caso concreto e repete-se o teste, para comparação. Se o padrão for incompatível com o resultado esperado, pode-se abrir uma hipótese para o incêndio criminoso.
4. Definir onde houve a falha primária no sistema - Pode ocorrer de o incêndio iniciar-se em um componente do sistema em decorrência da falha de outro componente. Essa é uma armadilha para o investigador. É importante, também, conhecer os componentes constituintes dos diferentes sistemas e se o equipamento inicialmente incendiado é original do veículo ou não. Para isso, pode ser utilizado o manual do veículo, a coleta de depoimentos, o estudo de casos análogos, entre outros.

2 FONTES DE IGNIÇÃO

A *National Fire Protection Association* (NFPA) 921 traz as principais fontes de ignição. O que se seguirá no presente manual é baseado nesta norma.

2.1 Chama aberta

Em veículos ainda com carburador, a fonte mais comum de uma chama aberta é provocada por um fenômeno chamado retrocesso de chama ou backfire.

Consiste basicamente na queima dos gases fora da câmara de combustão, ou seja, no escapamento, o que não oferece maiores riscos, ou no coletor de admissão, que pode se espalhar no motor. Isso ocorre sobretudo em motores desregulados e com peças vencidas, como a vela. Se por um lado os

veículos mais modernos usam sistema de injeção, eliminando o combustível, o fenômeno tem sido relativamente comum nos veículos adaptados para gás natural veicular (GNV). Chama aberta também pode provir de fósforos e materiais incandescentes. Em food trucks, há também o manuseio de equipamentos que operam com chama aberta, como fogão e forno.

2.2 Fontes elétricas

Aplicam-se aqui os mesmos conceitos de fenômenos elétricos elencados no presente manual, no capítulo sobre incêndios de origem elétrica. Entretanto, algumas peculiaridades sobre veículos devem ser enfatizadas.

Quando o motor está desligado, a única fonte disponível de energia elétrica é a bateria, podendo haver mais de uma bateria. Alguns componentes permanecem eletricamente conectados à bateria, operando a 12V, mesmo que a chave não esteja na ignição, podendo vir a falhar.

São estes os principais: gerador, alternador, motor de partida, caixa de fusíveis (sob o painel), alarme, alguns acessórios não originais, isqueiro, bancos elétricos, vidros elétricos, travas elétricas, luzes internas, retrovisores elétricos e chave de ignição. Entretanto, ressalta-se que, quando está em funcionamento, o veículo tem muito mais fontes de energia elétrica.

Fusíveis, disjuntores e cabos fusíveis oferecem proteção aos circuitos elétricos dos veículos motorizados. Nos sistemas de corrente contínua, a estrutura (chassi), as partes metálicas da carroceria e o motor estão conectados ao negativo da bateria, para o aterramento. O lado positivo da bateria fornece corrente para os fusíveis e a todos os equipamentos elétricos. Dessa forma, um dispositivo elétrico pode ter apenas um fio conectado fisicamente, mas estar ligado a partes metálicas do veículo que completam o circuito de volta para o terminal negativo da bateria (terra). Assim sendo, há risco de se fechar um curto-circuito quando o fio positivo energizado, um terminal ou componente condutivo tocar uma superfície que serve como aterramento, por exemplo, a lataria.

Muitos sistemas elétricos podem provocar a sobrecarga elétrica no veículo, por defeito de funcionamento ou por mal dimensionamento dos componentes elétricos, sobretudo se não for original e ter sido instalado após a aquisição do veículo. A sobrecarga pode também provocar a ignição do material de revestimento, do carpete e de sujeiras depositadas sob o banco, por exemplo.

O fenômeno elétrico pode ocorrer devido ao desgaste, esmagamento ou rompimento de cabos (ou mesmo do isolante), tendo a bateria energia suficiente para comburir um fluido combustível que esteja derramado nas proximidades. O material acumulado próximo a esses sistemas, como depósitos de graxa ou sujeira vinda da rua, também podem conduzir eletricidade, contribuindo para a eclosão. Segundo a NFPA 921 (item 25.4.2.5), uma grafitização dos materiais isolantes pode ser facilitada por essas sujeiras e pode ocorrer em sistemas de 12V.

Filamentos de lâmpadas quebradas podem servir como fonte de ignição, especialmente para gases e vapores, sobretudo a gasolina. Normalmente, os filamentos das lâmpadas operam com temperaturas na ordem de 1.400ºC, sob uma atmosfera inerte, a vácuo. Quando o filamento é exposto ao ar ambiente, produz uma chama aberta e se apaga, logo em seguida.

Barnett (2013, pág. 58) traz uma lista mais detalhada dos dispositivos elétricos ou eletromecânicos que são capazes de causar um incêndio por falha operacional: bateria, alternador, motor de partida, motor do ventilador/motores elétricos do sistema de ar-condicionado, bobina de ignição do motor, interruptores elétricos, solenoides, fiação, painel de fusíveis e relé, faróis, trilha do assento elétrico ou aquecedor de assento.

Cuidados com sinais de fenômeno elétrico:

Altas temperaturas próximas ao ponto de fusão do cobre, associadas ao contato com a água podem, provocar uma coloração esverdeada nos fios de cloreto de polivinila (PVC). Esse esverdeamento indica a formação de sulfato

de cobre, sulfeto de cobre ou cloreto de cobre, e não está associado aos fios com revestimento de polietileno (PE).

Entretanto, testes realizados por Gregory J. Barnett, nos anos de 2007 e 2012, revelaram que o contato de um fio revestido de PVC com o fluido da bateria (esta contendo ácido sulfúrico) pode provocar esse esverdeamento, sugerindo um falso indicativo de sobreaquecimento do fio.

Como visto no capítulo sobre eletricidade, traços de fusão são indicativos de curto-circuito na fiação. Entretanto, um pneu incendiado tem energia calorífica capaz de atingir a temperatura de fusão dos fios que estão posicionados acima desse pneu.

Por outro lado, traços de fusão podem se desfazer com manobras bruscas, como a aplicação de jato e jato de água no combate ou a retirada da bateria.

2.3 Superfícies aquecidas

Gases e fluidos inflamáveis, como óleo de motor e fluido de freio, podem entrar em combustão ao entrarem em contato com superfícies aquecidas.

Um dos maiores pontos de aquecimento de um veículo é o sistema de exaustão, que tem como função principal a eliminação dos gases, gerados após a queima nos cilindros, devidamente filtrados para amenizar a poluição. Pode atingir mais de 300 ºC no escapamento e mais de 700 ºC no catalizador. Mesmo após o desligamento do veículo, o decaimento da temperatura é lento.

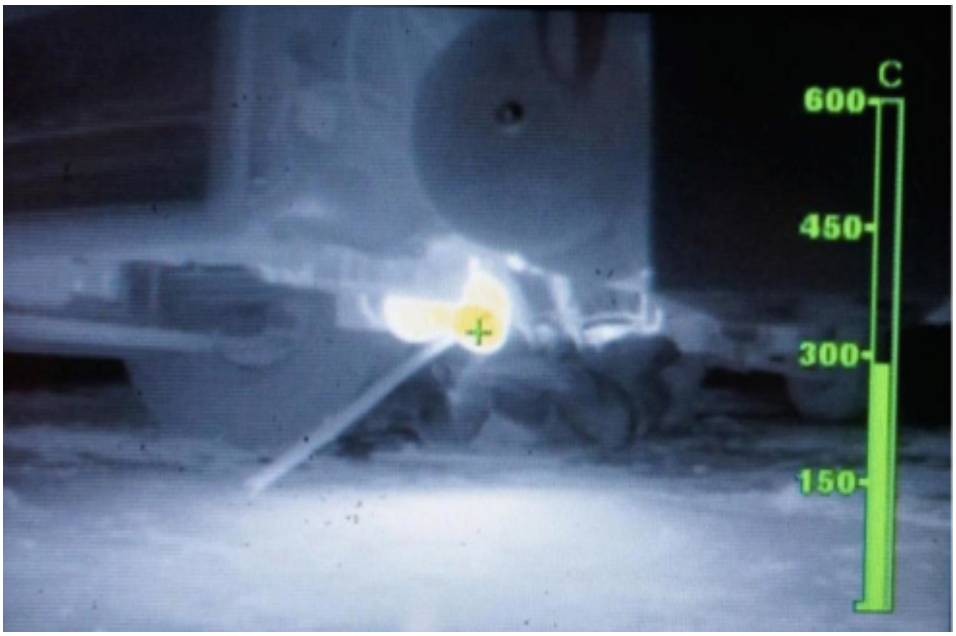
Segundo a NFPA, o tempo é de 20 a 30 minutos para a temperatura do escapamento abaixar 80%. Como os conversores catalíticos (ou catalisadores) podem aumentar sua temperatura após o desligamento do motor, levará de 45 minutos a 90 minutos para decair 80% de sua temperatura.

Logo, existe casuística de incêndios e princípios de incêndio em veículos associados ao contato direto do escapamento com materiais

inflamáveis de baixa energia de ativação, tais como grama, folhas secas, papel ou mesmo lixo da rua.

A imagem abaixo (Figura 31) foi feita pela câmera térmica, no momento em que um galho colocado dentro do escapamento, ignizou-se, em um teste realizado pela DINVI, em outubro de 2015, de forma a subsidiar um laudo pericial.

Figura 31 – O escapamento da viatura do CBMDF, motor diesel, chegou a 320ºC, medido com termopares.



Fonte: DINVI/CBMDF.

Nesses casos, a dinâmica do incêndio vai seguir um padrão de queima dissociado dos casos que envolvem o combustível e outros componentes inflamáveis, deixando marcas com caminho ascendente oriundos da fonte de energia externa na parte inferior do veículo.

Segundo a NFPA, normalmente, a gasolina não será inflamada por uma superfície quente, sendo necessário, para ignizá-la, um arco, faísca ou chama aberta. Entretanto, a ignição dos vapores de gasolina em contato com uma superfície quente não pode ser descartada – um estudo de caso que ilustra este tipo de incêndio pode ser encontrado nos laudos da DINVI/CBMDF

referentes ao incêndio nas viaturas tipo ASE e ABTF que vieram a se incendiar na ocorrência de incêndio florestal em 2015.

No geral, a ignição de líquidos por superfícies quentes é provocada pela conjugação de vários fatores (e não somente pela temperatura de ignição), sendo esses: a pouca ventilação do local; condições ambientais, tais como umidade, temperatura do ar e do fluxo de ar; e as propriedades físicas dos fluidos, como o ponto de auto-ignição, ponto de fulgor do líquido, ponto de ebulição do líquido, a pressão de vapor do líquido, a taxa de vaporização do líquido e nebulização. Outros fatores podem influenciar também o processo, como a rugosidade da superfície quente, o tipo de material e o tempo de permanência do líquido sobre essa superfície.

2.4 Faísca mecânica

Ocorre a partir do contato entre as superfícies, cujo atrito é capaz de gerar energia suficiente para inflamar gases, vapores e líquidos pulverizados: metal-metal (aço, ferro ou magnésio) - que pode ocorrer em polias, eixos ou rolamentos; metal-estrada, que normalmente envolve um componente quebrado, como eixo de transmissão, sistema de escape, ou aro da roda após a perda de um pneu.

Em ambos os caso se exige que o veículo esteja ligado ou em movimento. Mesmo a baixa velocidade (8 km/h) percebeu-se a produção de faíscas que atingiram 800 °C.

2.5 Cigarros e congêneres

Segundo a NFPA, os tecidos e materiais de estofamento dos veículos modernos são geralmente difíceis de se ignizar com um cigarro aceso. Entretanto, a ignição pode ocorrer a partir de um cigarro aceso sobre um papel, tecido ou outros detritos combustíveis.

Nos EUA, alguns estados adotaram a lei que proíbe a adição de nitrato de potássio ao cigarro, o que comumente causa a extinção de um cigarro não tragado antes mesmo de pegar fogo no estofamento.

3 INDICADORES DE INCÊNDIO CRIMINOSO EM VEÍCULO

Para a conclusão de incêndio criminoso em veículo, deve-se, primeiramente, excluir todas as demais hipóteses.

Uma característica comum do incendiário é aplicar grande quantidade de líquido inflamável para incendiar o veículo. Consequentemente, o padrão de queima será mais intenso, tanto em velocidade quanto em proporção, em se comparando a um incêndio ocorrido sem agente acelerante.

Durante a investigação, o perito em incêndio e explosões deve observar se as janelas estavam abertas ou fechadas e se há sinais de arrombamento nas fechaduras ou ainda desproporcional amassamento nas portas. E em caso de suspeita de furto, verificar se o cilindro da chave de ignição foi retirado, o que pode ser um indicativo de que o ladrão usou ligação direta para roubá-lo. São sinais de incêndio criminoso:

a) Revestimento esbranquiçado

Fosfatização é o processo de aplicação de fosfato de zinco na lataria do carro, antes de se aplicar propriamente a pintura. Tal processo garante maior proteção ao aço contra a corrosão provinda da tinta e outros componentes.

Sua aplicação é feita entre 400 e 450 °C. Esta é a temperatura necessária para fazê-la descolar do metal em que está aderida.

Mais comumente, são os compostos poliméricos mais antigos que podem gerar calor suficiente para se atingir tal temperatura. Ainda assim, resta ao investigador fazer uma contextualização das marcas encontradas em face da posição desses polímeros.

Cita-se que a pintura do carro não tem boa inflamabilidade, necessitando-se de uma fonte contínua de chama para também incendiar-se.

b) Padrões de queima em baixas porções do veículo

Cabe evocar, no presente, um princípio básico do fogo: ele sempre tende a subir. Assim, padrões de queima encontrados nas porções inferiores

do veículo são sempre dignos de uma análise mais apurada pelo perito em incêndio e explosões.

Marcas de queima no assoalho podem indicar que a porta (não somente a janela) do carro estava aberta no momento do sinistro, devido à entrada de oxigênio na porção inferior do compartimento de passageiros.

Sinais de queima no batente da porta também podem indicar que ela estava aberta no momento do sinistro. Entretanto, não se deve desprezar as seguintes possibilidades:

- que a porta tenha sido aberta após a eclosão (por exemplo, para o combate);
- que, em se estando a porta fechada e se for ateado fogo na lataria, o combustível lançado pode escorrer para dentro do batente, deixando pequenas marcas de incêndio.

c) Consumo extremo de polímeros

Com a normatização de resistência ao fogo dos materiais poliméricos, são necessários, em média, de 10 a 30 minutos para que estes sejam consumidos totalmente. Assim, incêndios de rápidas proporções são fortes indicativo de incêndio criminoso.

d) Marca de fogo embaixo do motor

Vestígios de queima embaixo do motor sem o rompimento dos reservatórios de fluidos combustíveis (fluido de direção hidráulica, gasolina, fluido de transmissão, óleo do motor e fluido de arrefecimento) pode ser indicativo de incêndio criminoso.

Assim sendo, o incêndio não atingiria grandes proporções e seria mais fácil identificar os vestígios do foco.

e) Fogo em diferentes compartimentos

O incêndio deixa marcas de seu progresso, que, relembrando, pode ser por condução, convecção ou radiação do calor. Focos nitidamente distintos, em

que se comprovou não haver qualquer comunicação entre ambos, pode ser sinal de incêndio criminoso, com múltiplos focos.

Deve-se, entretanto, estar atento ao fenômeno da deflexão de chamas, devido à pequena altura do teto e capô, que poderá provocar outros focos dentro de um mesmo compartimento.

f) Destruição da coluna de direção

A barra de direção é revestida por uma coluna de alumínio, cujo ponto de fusão gira em torno de 530 °C. Como não há material combustível abaixo dela, e considerando o comportamento sempre ascendente do fogo, pode-se concluir que tal destruição muito provavelmente ocorre somente se houver um ateamento de fogo abaixo de si. Obviamente, a barra de direção, que é de aço, não sofrerá grandes avarias.

g) Destruição de peças de alumínio fundido

São peças feitas com alumínio fundido: coletor de admissão, carcaça de alternador, corpo de borboleta, compressor do ar-condicionado, cilindro mestre e componentes da suspensão, entre outros.

Algumas peças de alumínio fundido ficam posicionadas ao lado de reservatórios de líquidos inflamáveis, cujo derramamento pode provocar a fusão desses materiais. Quanto a isso, não se pode tirar melhores conclusões.

A suspeita, entretanto, cairá sobre as peças de alumínio fundido que estiverem avariadas por ação térmica, estando longe de qualquer fluido combustível. O perito em incêndio e explosões deve observar se existem, em suas proximidades, vestígios de um foco de incêndio.

Deve-se observar, contudo, se essa peça avariada se encontra na rota de saída do fogo, uma vez que as chamas “procuram” aberturas para “respirar”. São estas as saídas das chamas do compartimento do motor: grade frontal, rodas e dentro do compartimento de passageiros.

4 TÉCNICAS DE INVESTIGAÇÃO PARA VEÍCULOS

Assim como nos incêndios estruturais, serão mais fáceis as investigações de incêndio em que houve poucos danos.

Apesar do pequeno espaço em relação a uma edificação, o fogo e a fumaça comportar-se-ão de modo semelhante em ambos os casos. Dessa forma, a NFPA emprega a mesma metodologia de investigação.

É fundamental que o perito em incêndio e explosões conheça os sistemas de um veículo, sobretudo a forma como operam, de modo a determinar se houve algum mau funcionamento ou alteração em sua configuração, ou, ainda, se foi uma dessas a causa do fogo.

Para melhor aproveitamento, o veículo deve ser examinado no próprio local do sinistro, uma vez que rastros no chão podem ser importantes para a investigação, como marcas de foco e queda de vidros e outros detritos.

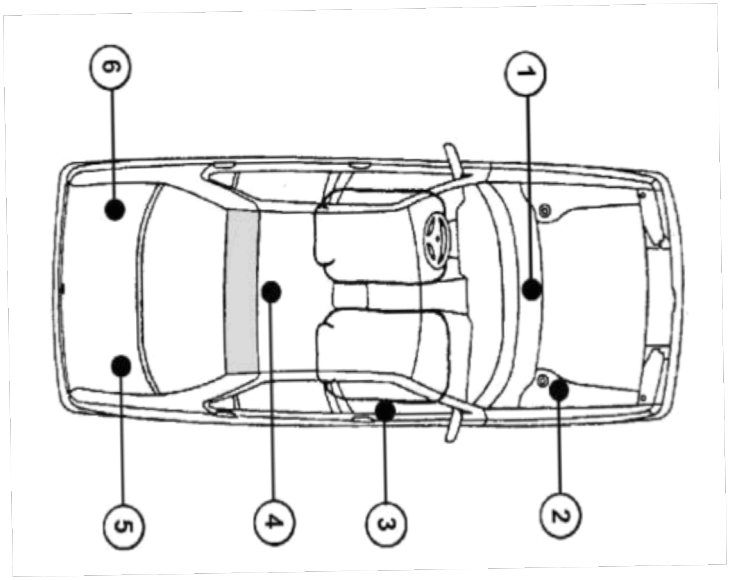
4.1 Inspeção e gravação das informações

Identificar o fabricante, ano, modelo, placa, cor e VIN (*Vehicle identification number*). Outros dados poderão ser levantados, como o tipo de motor, sobretudo se forem importantes para a investigação. Se o proprietário não foi localizado e se suspeitar de roubo/furto seguido de incêndio criminoso, deve-se consultar a situação do veículo. Há aplicativo de celular disponibilizado pelo Poder Público que auxilia o investigador nesse sentido, como, por exemplo, o Sinesp Cidadão.

Conforme a NBR 6066/2009, o VIN (ou NIV, em português) é um código internacional composto por 17 dígitos, alfanuméricos, e deve ser gravado diretamente sobre uma parte integrante do veículo, tais como a estrutura de chassis, ou no caso de veículos com uma estrutura integrada do corpo/chassis, uma parte que não pode ser facilmente removido ou substituído; ou ainda gravada em placa que não pode ser facilmente removível ou substituída.

Segue um mapa (Figura 32) com algumas das possibilidades de localização do VIN nas principais marcas de veículos de passeio no Brasil:

Figura 32 – Possíveis localizações do VIN.



Fonte: SENASP/ANP (2008).

4.2 Cena do sinistro

As informações mais importantes a serem coletadas sobre a cena do sinistro dizem respeito à condição e uso do veículo antes e durante o sinistro. Utilizar as técnicas de coleta de informações descritas neste manual, incluindo a inspeção no próprio veículo. A NFPA 921 (2011) dá exemplos de importantes informações que podem ser colhidas a respeito do veículo:

- Data da última utilização;
- Quilometragem rodada;
- Manutenção;
- Combustível;
- Objetos pessoais;
- Fotografias, durante e depois do sinistro.

Devem ser inspecionados o funcionamento mecânico do veículo sinistrado, sua composição e a suscetibilidade do fogo. Analisar um outro veículo de mesmo modelo e ano, bem como consultar o seu manual, pode

assegurar ao perito em incêndio e explosões importantes informações para a determinação da causa.

Toda a cena deve ser observada e fotografada, registrando as condições e localização do veículo, bem como dos elementos a sua volta atingidos pelo fogo. Desses elementos externos, deve-se ficar atento aos que poderiam vir a provocar um aquecimento desproporcional no veículo.

Cita-se um curioso caso, que mereceu destaque da imprensa internacional: no ano de 2013, um prédio em Londres de fachada espelhada começou a derreter compósitos plásticos de veículos estacionados em frente (*The Guardian*, 2015), fato bastante incomum nas perícias em incêndio e explosões, porém verídico.

As fotos devem incluir todas as faces, inclusive o teto e sob o veículo, bem como todos os compartimentos, no interior e exterior do veículo.

Se o veículo foi removido, pode ser importante analisar e fotografar também a cena, em busca de detritos e outras marcas, bem como ouvir testemunhas

4.3 Examinando o veículo

4.3.1 Estabelecer a zona de origem

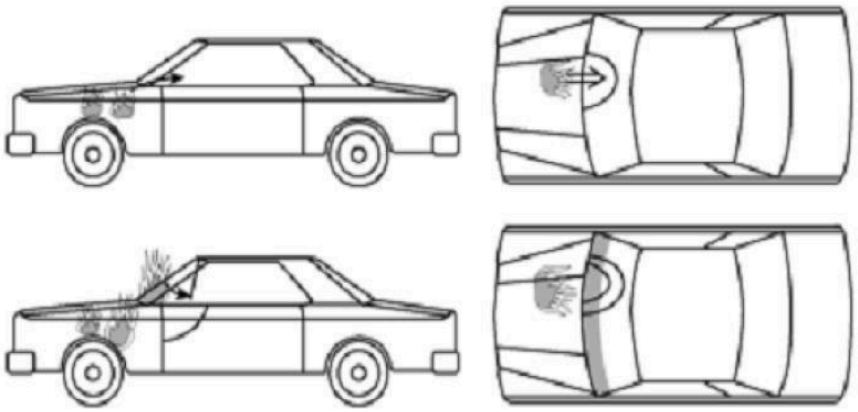
O primeiro passo é determinar a zona de origem do incêndio. Metodologicamente, pode-se dividir o veículo em três compartimentos, a saber: motor, de passageiros e de carga. Veículos que não possuem o compartimento de carga ou o apresenta conjugado ao de passageiros podem ser classificados com apenas dois compartimentos.

Geralmente, para a chama eclodida no compartimento de passageiros evoluir, é necessário que pelo menos um dos acessos (porta, janela) esteja aberto, de modo a permitir a entrada de ar, sem o qual o fogo tenderá a extinguir-se.

Um importante indicador do compartimento inicialmente incendiado pode estar presente no para-brisa e na porção do capô mais próximo do para-brisa.

Frequentemente, incêndios iniciados no compartimento do motor deslocam-se para dentro do compartimento de passageiros por meio dos dutos de ventilação e outras aberturas existentes, causando danos, primeiramente, no painel, e na porção inferior do para-brisa, deixando marcas como indicadas na Figura 33.

Figura 33 – Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento do motor.

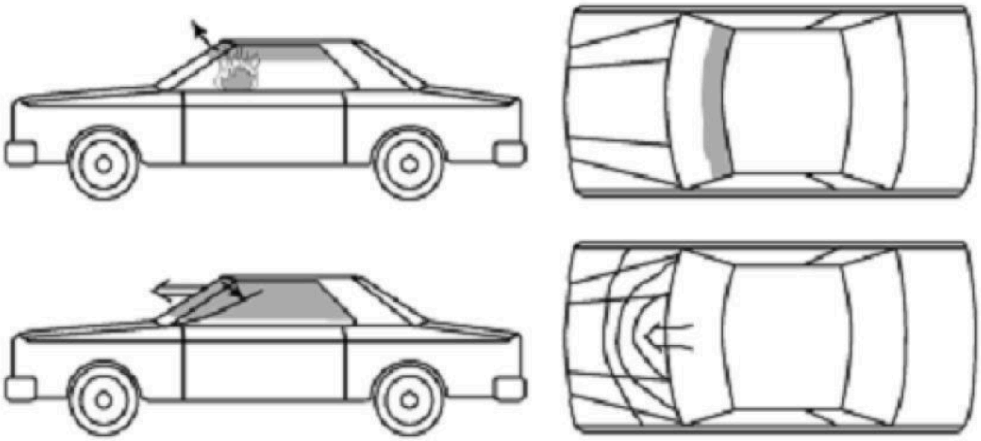


Fonte: NFPA 921 (2011).

Geralmente, focos iniciados no compartimento do passageiro com todos os vidros fechados tendem a se extinguir, por abafamento pela própria fumaça gerada. Entretanto, basta que uma das janelas esteja aberta para aumentar exponencialmente o risco de sua propagação até a generalização, conhecida como *flashover*.

Em oposição, as chamas iniciadas no compartimento de passageiros tendem a atingir a porção superior do para-brisa e, após seu rompimento, vindo a queimar diretamente a tinta do capô, abrangendo-lhe uma maior área do que na situação anterior, conforme a Figura 34.

Figura 34 – Padrão do desenvolvimento das chamas a partir do compartimento de passageiros.



Fonte: NFPA 921/2011.

4.3.2 Examinar os sistemas do compartimento de origem.

Deve ser analisado o estado de cada sistema componente do compartimento de origem e o seu possível envolvimento no sinistro, conforme já exposto neste manual. Novamente, enfatiza-se a recomendação de se iniciar o exame a partir dos sistemas menos atingidos para os mais atingidos pelas chamas.

Ainda, deve-se estar atento:

- ao potencial de carga de incêndio desses sistemas;
- ao caminho da propagação do fogo;
- ao padrão de queima, que deve ser compatível com o padrão já conhecido;
- ao ponto de fusão dos materiais, com base nas informações anteriores.

5 INCÊNDIOS MAIS COMUNS EM VEÍCULOS

Raramente há uma única causa para incêndios em veículos, mesmo que o perito possa elucidar todas as circunstâncias que provocaram o incêndio. É sempre mais provável que haja uma combinação de causas: humanas,

mecânicas e químicas, todas elas trabalham em conjunto para a falha sistêmica causadora do incêndio. Na maioria dos casos, as fontes de energia de ignição de incêndios em automóveis são semelhantes aos incêndios estruturais, tanto pela fonte quanto pela dinâmica do fogo.

Um veículo automotor contém uma variedade de materiais inflamáveis, incluindo líquidos inflamáveis e combustíveis sólidos, como desenvolvidos anteriormente neste manual. Possuem diversas fontes potenciais de incêndio, dentre essas: curtos circuitos, sobrecarga, chamas abertas, vazamentos de combustível, aquecimento por fricção, superfícies aquecidas do conversor catalítico, o turbocompressor, o coletor, etc.

No entanto, o tipo e a quantidade de materiais sintéticos combustíveis encontrados em automóveis de hoje, quando queimados, podem produzir queima acentuada, sem necessidade de acelerante ou de queima do combustível do veículo, o que torna o nível de incertezas muito elevado acerca das causas.

Uma grande variedade de materiais e substâncias pode servir como o primeiro a queimar nos incêndios de automóveis. Estes incluem dispositivos de abastecimento; transmissão, direção hidráulica, líquidos; e materiais internos do veículo ou na carga. Uma vez iniciado o incêndio, quaisquer desses materiais podem contribuir como um combustível secundário, afetando a taxa de crescimento do incêndio.

Em incêndios provenientes de falhas sistêmicas, as de combustíveis sólidos são menos comuns que as ocorridas em líquidos e gases, como os primeiros materiais a serem queimados em veículos, exceto em locais onde instalações elétricas ou fontes externas de energia sejam as possíveis fontes de ignição.

5.1 Estudos de caso

De forma a contribuir com o conhecimento teórico e prático, nesta seção serão abordados alguns estudos de caso em incêndios veiculares, todos tendo como fonte Shields e Scheibe (2009).

5.1.1 Toyota - Previa, modelo 1991

Um Toyota Previa estava a aproximadamente 80 km/h quando atingiu um carrinho de reboque que soltou de outro veículo. A haste do reboque atingiu a parte inferior o carro, perfurando o tanque de combustível (Figuras 35, 36 e 37). O veículo foi cercado por chamas imediatamente. O motorista conseguiu parar o veículo e sair com seu filho, entretanto tiveram que passar pelas chamas.

A gasolina era o único combustível líquido presente, e a provável fonte primária para o incêndio.

Ignição: A hipótese mais provável é que a causa do incêndio foi a partir das faíscas mecânicas criadas pelo atrito entre o reboque e o pavimento. Uma hipótese com menor possiblidade, é que o incêndio foi causado a partir de autoignição no coletor de escape ou no revestimento do tubo de escape, uma vez que esses componentes de exaustão estavam distantes da fonte de combustível e provavelmente não estavam quentes o suficiente.

Propagação: o incêndio provavelmente se iniciou próximo à abertura do tanque causada pelo reboque, ao lado da porta do motorista. O fogo se propagou para o interior através da porta do motorista aberta. O fogo na parte inferior do carro foi mais quente perto do vazamento (lado esquerdo), enquanto o fogo no interior foi mais quente no lado direito (provavelmente devido à direção do vento). A direção do vento foi confirmada através de serviços meteorológicos locais. Provavelmente o fogo iniciou imediatamente, com propagação para o interior quase imediatamente após as portas serem abertas.

Figura 35 – Toyota Previa após o incêndio.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 36 – Toyota Previa lateralizado, seta indicando local atingido pelo reboque.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 37 – Detalhe da abertura feito no tanque pelo reboque no Toyota Previa, de 7 – 10 centímetros .

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

5.1.2 Pontiac Grand Am, modelo 1999

O motorista de um Pontiac Grand Am estava dirigindo por volta de 25 minutos em um dia chuvoso e ao sair de uma rotatória, percebeu que a direção do veículo endureceu e escutou alguns sons diferentes. Após, uma fumaça densa cinza estava saindo do compartimento do motor, emanando pelos lados direito e esquerdo em direção a traseira. O motorista não conseguiu mover o carro para o acostamento, uma vez que a direção não respondia, mas conseguiu parar o carro. O motorista afastou o passageiro e a criança a 5 metros do veículo e depois voltou para desligar o motor. As primeiras chamas

foram observadas nesse momento, na parte de trás da roda dianteira do lado do passageiro. Aproximadamente 3 minutos se passaram desde a rigidez da direção e a primeira observação de chamas. Não havia material combustível no chão, chamas estavam localizadas na parte inferior do veículo. Os bombeiros chegaram 6 minutos após a ligação. O fogo foi extinto de 9 a 12 minutos depois que a fumaça foi vista pela primeira vez e antes de chegar ao compartimento de passageiros.

Combustível: Possíveis fontes de combustível líquido incluem fluido de direção hidráulica, líquido de arrefecimento e gasolina. Esses dois últimos são considerados menos prováveis para contribuir no início da combustão, uma vez que estavam mais altos no compartimento do motor e nenhum problema de dirigibilidade foi observado além da perda de direção hidráulica.

As evidências físicas mostraram que o fogo estava concentrado atrás do motor (Figuras 38, 39 e 40) e que ele começou na parte de baixo e provavelmente no coletor de escape blindado. Acredita-se que foi a partir de um furo na mangueira da direção hidráulica, mas danos nas mangueiras causados pelo incêndio impediram a confirmação.

Ignição: As mangueiras e os acessórios da direção hidráulica estavam muito próximos do coletor de escape blindado e do centro do padrão de queima. Julga-se que o fluido da direção hidráulica se autoigniu no coletor de escape. Este mostrou uma coloração escura na parte inferior, na direção do lado do passageiro na área das mangueiras de direção hidráulica. Os fios elétricos não são uma fonte provável de ignição nesse incêndio, uma vez que não estavam localizados na área identificada como a origem do incêndio. Dada a descrição da falha da direção hidráulica, que provavelmente era um evento de anterior ao incêndio, é improvável que a ignição tenha sido causada por mau funcionamento do sistema elétrico, pois isso exigiria duas falhas simultâneas.

Propagação: O fogo se originou perto da parte traseira do motor, na parte baixa do compartimento do motor e um pouco para o lado direito. O padrão de queima no capô (Figura 41) e atrás do motor confirmou essa

suposição. O fogo se espalhou para cima no compartimento do motor e permaneceu alto. A descoloração na parte inferior do coletor de escape traseiro blindado estava concentrada apenas no lado do passageiro. O fogo foi extinto antes de entrar no compartimento de passageiros. O para-brisa mostrou danos causados pelo calor e fumaça, mas sem aberturas (Figura 42).

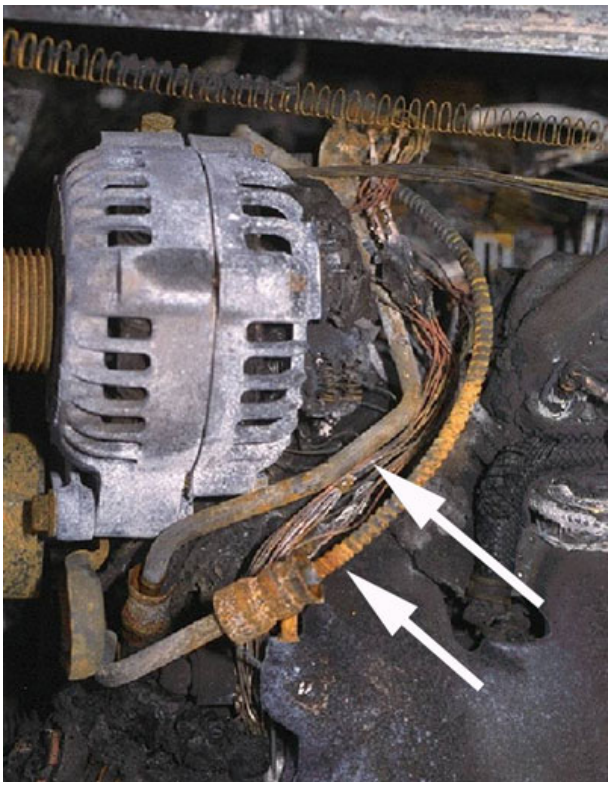
Figura 38 – Pontiac Grand Am após incêndio no compartimento do motor

Fonte: Shields; Scheibe (2009)

Figura 39 – Compartimento do motor do Pontiac Grand Am após o incêndio. Veículo direcionado para esquerda. Foco inicial provável na parte de trás do compartimento, lado direito marcado na foto.

Fonte: Shields; Scheibe (2009)

Figura 40 – Detalhe do lado de trás do compartimento do motor no Pontiac Grand Am. As setas indicam as mangueiras de direção hidráulica



Fonte: Shields; Scheibe (2009)

Figura 41 – Capô do Pontiac Grand Ama após o incêndio. Padrão de queima em direção a traseira do veículo, lado esquerdo da foto

Fonte: Shields; Scheibe (2009)

Figura 42 – Danos causados pelo calor e fumaça vistos pela parte interna do veículo

Fonte: Shields; Scheibe (2009)

5.1.3 Saturn SL2, 1994

O motorista de um Saturn SL2 parou o veículo no meio da rodovia em vez de ir para o acostamento. Um Ford Taurus, modelo 1995, que estava atrás do Saturn, o atingiu. Faíscas foram observadas embaixo do Saturn e o incêndio foi iniciado quase que imediatamente.

De 1 a 3 minutos do impacto, uma testemunha se aproximou, viu chamas no compartimento de passageiros atrás do banco do motorista se aproximando da parte de trás da cabeça do motorista, que estava imóvel. A testemunha utilizou extintor, o qual reduziu brevemente as chamas, mas retornaram rapidamente. O compartimento de passageiros estava totalmente envolvido de 3 a 5 minutos após o impacto. Os bombeiros chegaram dentro de 7 minutos após o impacto. O fogo causou danos principalmente no compartimento de passageiros, pouco do incêndio se propagou para o motor ou parte inferior do veículo (Figuras 43 e 44).

Combustível: A gasolina do tanque do Saturn era a única fonte possível de combustível líquido. A rapidez com que o fogo iniciou e se propagou foi consistente com um incêndio alimentado por um combustível líquido.

Ignição: Nenhuma fonte definitiva de ignição foi identificada. Uma testemunha observou faíscas embaixo do veículo durante ou imediatamente

após o impacto. Estava de noite e a rodovia não tinha iluminação, o que facilita a visualização do fogo, assim, pela descrição da testemunha, é provável que o volume de faíscas tenha sido provocado mecanicamente. A superfície da parte inferior do veículo mostra evidência de raspagem no pavimento (Figura 45). As faíscas também podem ter sido causadas devido ao atrito das superfícies metálicas entre si durante o esmagamento. Faíscas elétricas e filamentos quentes expostos estavam presentes nas luzes energizadas dos dois veículos.

Origem e Propagação: Os danos causados pelo incêndio na parte inferior do veículo foram pequenos. Os materiais combustíveis permaneceram naquela região e apresentaram poucos danos causados pelo calor. O canto superior do tanque de combustível (na posição pós-impacto danificada) mostrou exposição ao calor, mas não houve aberturas. Os danos causados pelo fogo foram intensos no compartimento de passageiros (Figuras 46 e 47), grande parte dos combustíveis foram consumidos. Apenas pouco material de espuma dos assentos permaneceu nesse compartimento. O carpete mostrou pouco dano por queimadura. O painel de instrumentos foi danificado por queimadura no canto superior esquerdo, superior direito e inferior direito. Nenhum dano de queimadura foi evidente no compartimento do motor.

Com esmagamento intenso, a superfície do tanque de gasolina próxima ao assoalho não pôde ser examinada na sua totalidade. No entanto, a inspeção por cima não revelou aberturas no assoalho na região do centro do tanque. A área de suspeita de vazamento na parte central do veículo. Prováveis caminhos de propagação foram localizados ao longo do veículo, através das soldas pontuais rasgadas. Não houve rompimento do assoalho do porta-malas pela frente do estepe para trás e nenhum padrão de queima nesta área. Como os danos causados pelo fogo eram predominantemente no compartimento de passageiros, com pequeno propagação na parte inferior do veículo, um vazamento contínuo do tanque foi descartado. Provavelmente, a gasolina foi liberada durante o impacto do tanque e foi pulverizada no compartimento de passageiros.

Figura 43 – Veículo Saturn SL2 após impacto e incêndio (porta do motorista provavelmente removida pelos serviços de emergência)

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 44 – Lado debaixo do veículo. Seta aponta o tanque de combustível na zona de esmagamento em frente ao eixo traseiro

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 45 – Parte inferior do Saturn. A seta inferior idêntica o tanque. As superiores mostram as marcas de raspagem (traseira do veículo está na parte inferior da foto).

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 46 – Danos no compartimento de passageiros. Estrutura do assento do motorista mostrada no lado direito. Seta indica a borda queimada do tanque de combustível através da abertura da chapa rasgada.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 47 – Vista através do assento do motorista (estrutura do assento em primeiro plano), através da chapa rasgada. Região do tanque de combustível plástico queimado através da abertura.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

5.1.4 Volkswagem - Gol

O motorista do Gol, ao sair do trabalho, se dirigiu ao posto para realizar troca do óleo e filtro do veículo. Saiu do posto, realizou paradas em alguns lugares. Após um certo tempo dirigindo, outros motoristas a avisaram sobre um intenso derramamento de óleo e fogo, sentiu um odor estranho, tentou parar o automóvel, mas o freio não funcionou. Utilizou, assim, o freio de mão para realizar a frenagem. Ao sair do veículo, ele estava em chamas.

No compartimento do motor existem substâncias combustíveis, exemplo da gasolina, óleo lubrificante, material plástico, entre outros. Foi verificado que a maior parte do material foi comburido, restando em suma, materiais metálicos. No compartimento de passageiros, foram comburidos o painel e os bancos.

Foram realizados exames diversos em fios condutores elétricos, buscando encontrar traços ou características da ocorrência de fenômeno termoelétrico. Essa hipótese foi descartada, uma vez que fios condutores analisados em laboratório não apresentaram sinais da ocorrência do fenômeno.

Foram examinados os principais componentes do motor visando encontrar a causa do incêndio. Ao inspecionar o reservatório de óleo do motor (carter) constatou-se a ausência do bujão que tem a função de manter o óleo dentro do reservatório. Acredita-se que o vazamento desse fluido tenha causado o aumento da temperatura do motor, fazendo com que algum material combustível entrasse em combustão. Considerando a deterioração do compartimento do motor, não foi possível determinar o primeiro material combustível. Essa hipótese foi aceita, visto que foi verificado um intenso vazamento de óleo (Figura 48), seguido de incêndio e a ausência do bujão do cárter (Figura 49).

Assim, possivelmente, o incêndio teve como causa o aumento da temperatura do motor, o qual atuou como fonte de ignição para um primeiro material combustível não identificado devido a deterioração do compartimento (Figuras 50 e 51).

Figura 48 – Detalhe vazamento do óleo na pista.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 49 – Detalhe do carter sem bujão.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 50 – Foto lateral do veículo.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

Figura 51 – Detalhe do compartimento do motor.

Fonte: Shields; Scheibe (2009).

6 REFERÊNCIAS

ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). **Alumínio Brasileiro:** Soluções Para uma Vida Sustentável. São Paulo, 2017.

ABNT. NBR 6066/2009. **Número de identificação de veículo** (VIN).

ALPHABETICAL GLOSSARY OF AUTOMOTIVE TERMS. Disponível em: <https://www.edmunds.com/glossary/>. Acesso em: 1 jun. 2016.

AUTO MONITOR. **Que materiais são usados para produzir um carro?** 2015. Disponível em: <https://automonitor.pt/2015/03/03/mercado-e-estatisticas/que-materiais-sao-usados-para-produzir-um-carro/>. Acesso em: 28 mar. 2019

BARBOSA, Vanessa. **Nissan revela o 1º carro do mundo movido a óxido sólido.** 2016. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/nissan-revela-o-1o-carro-do-mundo-movido-a-oxido-solido/>. Acesso em: 31 out. 2019.

BARNETT, Gregory J. **Automotive Fire Analysis:** An Engineering Approach. Third Edition, Lawers&Judges Publishing Company, Inc. Tucson, Arizona, EUA, 2013.

BRASIL, Lei nº 9.503, **Código de Trânsito Brasileiro**, de 23 de setembro de 1997.

BULLIS, Kevin. **Are Electric Vehicles a Fire Hazard?** MIT Technology Review. 2013. Disponível em: https://www.technologyreview.com/s/521976/are-electric-vehicles-a-fire-hazard/. Acesso em: Acesso em: 31 out. 2019.

CBMDF. Norma Regulamentadora nº 4, de 2011. **Metodologia Para Investigação de Incêndio em Veículos Automotores.** Boletim Geral 164, 29 ago. 2011.

CBMGO. **Manual Operacional de Bombeiros:** Perícia de Incêndio. Corpo de Bombeiros Militar do Goiás. CBMGO, 2017.

CONTRAN. Resolução nº 254, de 26 de outubro de 2007.

COSTA. Paulo G. **A Bíblia do Carro**. 2001-2002. Disponível em: https://www.rastrum.com.br/dir_smb/manuais/automotivos/Mecanica%20Automotiva.PDF. Acesso em: 01 jun. 2016.

DEHAAN, John D. **Kirk´s Fire Investigation**. Pearson Prentice Hall, 6ª Edição. California, 2007.

DENATRAN. Resolução nº 498, de 29 de julho de 2014.

DRYSDALE, Dougal. **An Introduction To Fire Dynamics.** 2. ed. Edinburgh: John Wiley & Sons Ltd, 1999.

ESCOLA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL - EEEP. Secretaria de Educação do Ceará. **Sistema de Transmissão Mecânica.** Disponível em: <https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/images/material_didatico/manutencao_automotiva/manutencao_automotiva_sistema_de_transmissao_mecanica.pdf>. Acesso em: 01 set. 2019.

ENRIGHT, Niall. **Basic principles of operation and applications of fuel injection systems in petrol-powered cars.** 2016. Disponível em: <http://lit.ie/News/News%20Documents/ETTA-ENGINEERING-TOPIC-2015-student.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

EUROBAT. **E-Mobility Battery R&D Roadmap 2030**: Battery Technology for Vehicle Applications. 2015. Disponível em: https://eurobat.org/ sites/default/files/eurobat_emobility_roadmap_ lores_1.pdf. Acesso em: 31 out. 2019

FGV ENERGIA. **Carros Elétricos.** 7. ed. Rio de Janeiro, 2017.

FUNCIONAMENTO Sistema de Arrefecimento. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nNVGUynIlMo>. Acesso em: 01 set. 2019.

GERMAN, John. **Hybrid Vehicles: Technology Development and Cost Reduction:** International Council on Clean Transportation. 2015. Disponível em: http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_TechBriefNo1_Hybrids_July2015.pdf. Acesso em: 31 out. 2019.

GUARDIAN, The. **Carbuncle Cup:** Walkie Talkie wins prize for worst building of the year. Disponível em: https://www.theguardian.com/uk-news/2013/sep/03/walkie-scorchie-building-developers-erect-scaffold. Acesso em: 01 jun. de 2016.

HENRIQUE, Fábio. **Como funciona um carro elétrico?** 2014. Disponível em: <https://industriahoje.com.br/como-funciona-um-carro-eletrico>. Acesso em: 01 out. 2019.

INCROPERA, Frank P. et al (Ed.). **Fundamentos de Transferência de Calor.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2016:** Beyond one million electric cars. 2016. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf>. Acesso em: 31 out. 2019.

IVANENKO, Fernando. **Caixa de Fusíveis do seu carro.** 2018. Disponível em: <https://www.maosaoauto.com.br/2018/11/caixa-de-fusiveis-do-seu-carro/>. Acesso em: 28 ago. 2019.

IVANENKO, Fernando. **Como Funciona O Alternador Do Seu Carro.** 2017. Disponível em: <https://www.maosaoauto.com.br/2017/05/como-funciona-o-alternador-do-seu-carro/>. Acesso em: 28 ago. 2019.

LAMBERT, Fred. **Tesla Model S catches on fire during a test drive in France.** Electrek. 2016. Disponível em: https://electrek. co/2016/08/15/tesla-model-s-catches-fire-test- drive-france/. Acesso em: 31 out. 2019.

MARTINS, Márcio. **Saiba por que no abastecimento não é recomendado encher o tanque.** 2014. Disponível em: <https://www.campograndenews.com.br/veiculos/saiba-por-que-no-abastecimento-nao-e-recomendado-encher-o-tanque-ate-a-boca>. Acesso em: 29 ago. 2019.

MECÂNICA AUTOMÓVEL. **Sistema de Alimentação**. Disponível em: <https://mecanicaautomovel.weebly.com/sistema-de-alimentaccedilatildeo.html>. Acesso em: 28 ago. 2019.

MECCIA, Carlos. **Segurança, o bom caminho.** 2017. Disponível em: <https://www.autoentusiastas.com.br/2017/06/seguranca-o-bom-caminho/>. Acesso em: 28 mar. 2019.

MERCEDES-BENZ E200 NGT. 2013. Disponível em: <http://www.business-car.cz/testy/test-mercedes-benz-e200-ngt>. Acesso em: 31 ago. 2019.

MORASSI. Odair José. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. Disponível em: http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_pol%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf. Acesso em: 01 jun. 2016.

NFPA 921. **Guide for Fire and Explosion Investigations**. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2011.

OLIVEIRA, Sonia Maria Marques de *et al*. Gás Natural Veicular (GNV). **Dossiê Técnico**. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007. Disponível em: http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NjU=. Acesso em: 01 jun. 2016.

PÁRA-BRISA de vidro quebrado com teste padrão de estrela. Disponível em: <https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-royalty-free-p%C3%A1ra-brisa-de-vidro-quebrado-image2198085>. Acesso em: 01 out. 2019.

PIDOLL, Ulrich von. **Electrostatic ignition hazards in motor cars** – occurrence, detection and avoidance. ONU/UNECE, Alemanha, 2003. Disponível em: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2003/wp29grsg/TRANS-WP29-GRSG-84-inf02e.pdf. Acesso em: 01 jun. 2016.

SANTROCK, J., **Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 4**: Propagation of an Underbody Gasoline Pool Fire in a 1996 Passenger Van, NHTSA 98-3588-143, 1998.

SISTEMA de Lubrificação. Disponível em: <http://r19club.com/motor/sistema-de-lubrificacao/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

SEBRAE. **Como montar um *foodtruck*.** Disponível em: http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-um-food-truck. Acesso em: 01 jun. 2016.

SENASP. **Curso de Identificação Veicular**. Apostila. Atualizada em 2008. Disponível em: http://intranet.pmrv.sc.gov.br/jsp/procedimentos.do?method=getDocumento&cdPublicacao=502&nuSeq=2&nmArquivo=Identifica%E7%E3o%20Veicular%20Modulo%201. Acesso em: 01 jun. 2016.

SHIELDS, Leland; SCHEIBE, Robert. **Motor Vehicle Fire Investigation.** 2009. Disponível em: <http://depts.washington.edu/vehfire/begin.html>. Acesso em: 01 ago. 2019.

STROSKI, Pedro Ney. **Funcionamento do veículo híbrido.** 2019. Disponível em: <http://www.electricalelibrary.com/2019/02/13/funcionamento-do-veiculo-hibrido/>. Acesso em: 01 out. 2019.

TRACE EVIDENCE ANALYSIS FACILITY (TEAF). **Introduction to examination and comparison of glass examination.** Slides “2012 Instrumental Analysis Of Trace Evidence Workshops With a Focus on Interpretation Instruction”. Florida International University, 2012. Disponível em: http://teaf.fiu.edu/Training_Downloads/Module%203_Forensic%20examinations.pdf. Acesso em: 01 jun. 2016.

UFRJ. **Sistema de Lubrificação dos Motores de Combustão Interna.** Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/apresenta/sistema%20de%20lubrificacao.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2019.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **All-Electric Vehicles.** Disponível em: <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml#data-sources>. Acesso em: 31 out. 2019.