

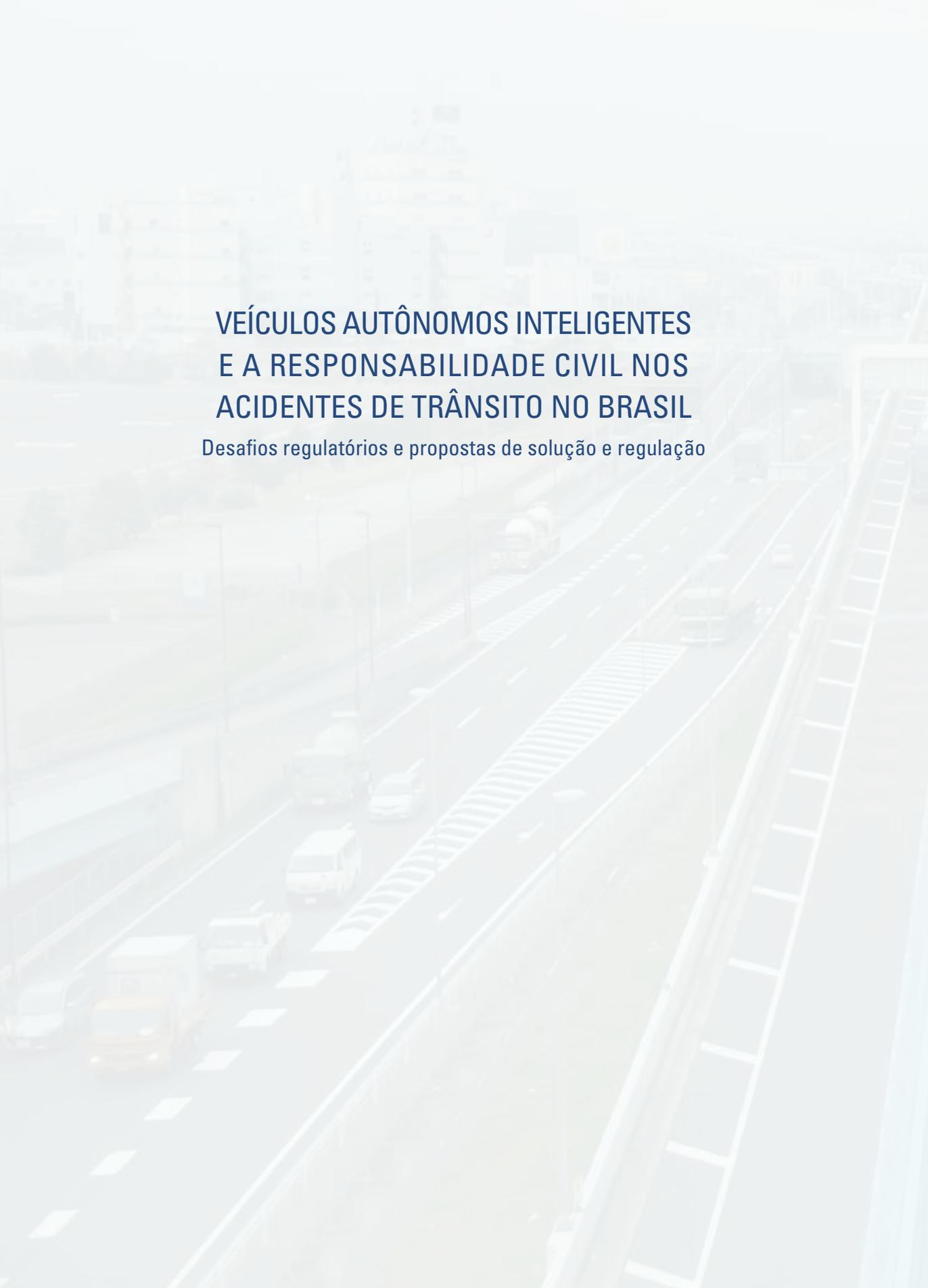
Série Pesquisas ESMPU • Volume 2

# VEÍCULOS AUTÔNOMOS INTELIGENTES E A RESPONSABILIDADE CIVIL NOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL

Desafios regulatórios e propostas de solução e regulação

Marcelo Santiago Guedes  
Henrique Felix de Souza Machado





# VEÍCULOS AUTÔNOMOS INTELIGENTES E A RESPONSABILIDADE CIVIL NOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL

Desafios regulatórios e propostas de solução e regulação



República Federativa do Brasil

## Ministério Público da União

Antônio Augusto Brandão de Aras  
Procurador-Geral da República

Humberto Jacques de Medeiros  
Vice-Procurador-Geral da República

## Escola Superior do Ministério Público da União

Paulo Gustavo Gonet Branco  
Diretor-Geral

Manoel Jorge e Silva Neto  
Diretor-Geral Adjunto

Carlos Vinícius Alves Ribeiro  
Secretário de Educação, Conhecimento e Inovação

Graziane Madureira Baptista  
Secretária de Comunicação Social

Ivan de Almeida Guimarães  
Secretário de Administração

Rajiv Geeverghese  
Secretário de Tecnologia da Informação

Série Pesquisas ESMPU • Volume 2

# VEÍCULOS AUTÔNOMOS INTELIGENTES E A RESPONSABILIDADE CIVIL NOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NO BRASIL

Desafios regulatórios e propostas de solução e regulação

*Marcelo Santiago Guedes*  
*Henrique Felix de Souza Machado*

Brasília-DF  
2020



## Escola Superior do Ministério Público da União

SGAS Quadra 603 Lote 22 | 70200-630 – Brasília-DF

www.escola.mpu.mp.br | divep@escola.mpu.mp.br

© Copyright 2020. Todos os direitos autorais reservados.

### Coordenador Editorial (Gestão 2017-2019)

Antonio do Passo Cabral

### Orientador de Pesquisa

Carlos Bruno Ferreira da Silva

### Divisão de Editoração e Publicações

Lizandra Nunes Marinho da Costa Barbosa

### Núcleo de Preparação e Revisão Textual

Carolina Soares

### Núcleo de Produção Gráfica

Sheylise Rhoden

### Preparação de originais e revisão de provas gráficas

Carolina Soares e Letícia Santiago

### Projeto gráfico e diagramação

Natali Andrea Gomez Valenzuela

### Capa

Sheylise Rhoden

Recursos gráficos de capa e miolo: Freepik.com

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Biblioteca da Escola Superior do Ministério Público da União)

---

G924 Guedes, Marcelo Santiago

Veículos autônomos inteligentes e a responsabilidade civil nos acidentes de trânsito no Brasil : desafios regulatórios e propostas de solução e regulação / Marcelo Santiago Guedes, Henrique Felix de Souza Machado. – Brasília : ESMPU, 2020. – ( Série Pesquisas ESMPU; v. 2) 139 p. : il.

ISBN (eletrônico) 978-65-5895-000-4

1. Responsabilidade civil (Brasil). 2. Transporte rodoviário, acidente, responsabilidade civil. 3. Veículos, automação, regulação. – Brasil. 4. Infraestrutura urbana, automação. 5. Inteligência artificial, Brasil. I. Guedes, Marcelo Santiago. II. Machado, Henrique Felix de Souza. IV. Série.

CDD 342.151

---

As opiniões expressas nesta obra são de exclusiva responsabilidade dos autores.

## AUTORES

### *Marcelo Santiago Guedes*

Perito em Tecnologia da Informação e Comunicação do Ministério Público da União. Mestre em Ciência da Computação pelo Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco. Especialista em Direito da Comunicação Digital pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas.

### *Henrique Felix de Souza Machado*

Advogado nas áreas de Direito Econômico e Direito Regulatório. Mestre em Direito pela Universidade de Brasília.

# SUMÁRIO

Prefácio, 9

**Capítulo 1 • Breve Panorama, 13**

**Capítulo 2 • A Responsabilidade Civil em Acidentes de Trânsito, 19**

2.1 Responsabilidade civil, 19

2.2 Responsabilidade e trânsito, 24

2.3 A responsabilidade civil automobilística brasileira, 26

**Capítulo 3 • Inteligência Artificial e Carros Autônomos, 37**

3.1 Os autômatos inteligentes, 37

3.2 As Redes Neurais Artificiais, 41

3.3 Os agentes inteligentes e a autonomia na tomada de decisão, 46

3.4 A indústria do carro inteligente, 48

3.5 Principais desafios da direção autônoma, 53

3.6 Arquiteturas utilizadas em projetos de carros autônomos, 54

3.7 Limitações e restrições de operação dos sensores, 59

**Capítulo 4 • Carros Autônomos e Responsabilidade Civil, 61**

4.1 Considerações iniciais, 61

4.2 Desafios mais urgentes, 65

4.3 Maior incidência da responsabilidade objetiva?, 70

4.4 Infraestrutura e responsabilidade, 76

4.5 Possíveis dificuldades periciais, 83

4.6 Carros autônomos e direito dos seguros, 86

## Capítulo 5 • Propostas de Solução e Regulação, 89

- 5.1 A Resolução do Parlamento Europeu com Recomendações de Direito Civil sobre Robótica [2015/2103 (INL)], 89
  - 5.2 Regulação da Inteligência Artificial: abordagem setorial e criação de regimes jurídicos específicos, 97
  - 5.3 A adequação legal e regulatória brasileira para o tráfego de carros autônomos, 98
  - 5.4 Existência e padronização de *datalogger*, 103
  - 5.5 *Learning logger*, 104
  - 5.6 Vedação à *aprendizagem on-line*, 107
  - 5.7 Criação de um processo de certificação nacional e autorização local, 108
  - 5.8 Criação de um padrão para os processos de teste, validação e certificação, 113
  - 5.9 Problemas de infraestrutura, 115
  - 5.10 Limitações e restrições de funcionamento dos sensores, 116
  - 5.11 Cenários de utilização de veículos autônomos, 117
  - 5.12 Um arquétipo analítico inicial, 118
  - 5.13 *Coding the Law*, 121
- Conclusão, 127
- Referências, 131

## PREFÁCIO

Desde que Karl Benz patenteou o carro a motor, em 29 de janeiro de 1886, o imaginário da humanidade vem sendo preenchido pela noção de que esses instrumentos mecânicos de locomoção são representativos do ideal de progresso iluminista. Os veículos a motor são vistos, inicialmente, como o meio criado pelo intelecto humano para facilitar e acelerar os deslocamentos sobre a Terra, libertando-nos da dependência sobre forças da natureza, sejam os ventos ou os animais.

A ficção científica, ramo literário propício para a difusão de nossas aspirações ainda irrealizáveis, logo se apropriou desse símbolo. Quem nunca sonhou com carros voadores, seguindo velocíssimos em enormes quantidades pelos nossos céus? Não por acaso clássicos do cinema como *Blade Runner* e *De Volta para o Futuro* têm como imagens emblemáticas veículos seguindo indômitos na direção do horizonte.

E a realidade, através das ciências exatas, paulatinamente consegue alcançar o que antes era construção ficcional. Nesse momento, cabe ao Direito, como ciência social aplicada, conceber as consequências práticas daquele avanço.

A obra que vocês lerão a seguir, se não trata ainda de carros que planam pelos ares, aborda a evolução já real que os automatiza, na prática os combinando com outra obsessão da literatura científica do século XX: a existência de máquinas complexas capazes de realizar autonomamente tarefas a partir de comandos humanos prévios. A ideia de autômatos criados para servir ao homem (não por acaso o termo *robô* é derivado do vocábulo eslavo *robot*, que significa “trabalhador forçado”) se vê em diferentes relatos das mitologias grega, chinesa, hebraica e egípcia, mas a sua concretização se torna mais palpável com o desenvolvimento de mecanismo de controle remoto ao fim do século XIX.

E logo também se popularizou na ficção científica, servindo para grandes narrativas, mas também importantes alertas dos desafios da sua utilização. As “três leis da robótica”, de Isaac Asimov, mais que uma solução infalível

dos perigos da automação, são na sua obra uma demonstração de que devemos estar preparados para as consequências da sua transgressão.

Este livro é a resposta do nosso Direito Civil para quando há descumprimento da primeira lei da robótica, a que estatui que “um robô não deve machucar um ser humano ou, por inação, deixar um ser humano ser machucado”. Acidentes com veículos automotores são uma constante social que quase que certamente não deixará de existir com a progressiva implantação do carro autônomo. É crível admitirmos que, ao mesmo tempo que diminuirá fortemente em quantidade, nos causará mais repulsa, ao menos num primeiro instante, pelo temor que o novo frequentemente causa ao ser humano. A morte de Elaine Herzberg, em 18 de março de 2018, numa rua de Tempe, no Arizona (EUA), acertada por um veículo autônomo do Uber em teste, recebeu muito mais cobertura da imprensa brasileira do que os 35,3 mil mortos em acidentes de trânsito no País em 2017.

Penso que a primeira grande característica de um pesquisador é ser capaz de colocar seu conhecimento de pesquisa em sintonia com as demandas que traz a sociedade num determinado momento histórico. Marcelo Guedes apresentou essa sensibilidade cognitiva ao me procurar para orientá-lo num trabalho científico para a Escola Superior do Ministério Público da União que visava compreender como a regulação governamental deveria ser formatada de maneira a responsabilizar adequadamente nos acidentes com carros autônomos.

A segunda qualidade que vejo como fundamental foi demonstrada ao longo da pesquisa. É a capacidade de compreender quais elementos essenciais do conhecimento necessitam ser trabalhados ao longo da investigação para conseguirmos as soluções pretendidas. Nesse caso envolvia o entendimento do funcionamento do algoritmo hoje utilizado em carros autônomos, no que a formação prévia tecnológica e a capacidade de raciocínio lógico do pesquisador foram indispensáveis.

Penso que o leitor que percorrer as páginas a seguir terá a grande satisfação de compreender conceitos técnicos com uma linguagem extremamente acessível, sem deixar de ser precisa, e verificar em que nossas normas de responsabilidade civil e do Código de Trânsito já se mostram prontas para o desafio que se imporá nos próximos anos. Contudo, principalmente, poderá entender os pontos em que há imperiosidade de mudanças, a maior

parte desde já, para que esse avanço tecnológico atinja os maiores potenciais pensados pela literatura e não descambe para uma distopia de sofrimento e inculpabilidade. Só a propagação do estudo do tema, como faz esta obra pioneira, pode permitir esse resultado.

Lisboa, 8 de abril de 2020.

*Carlos Bruno Ferreira da Silva*

Doutor *sobresaliente cum laude* em Direito Constitucional (Proteção de Dados) pela Universidade de Sevilla. Mestre em Teoria do Estado e Direito Constitucional pela PUC-Rio. Pesquisador Visitante no Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht (2009-2010). Pós-Doutorando em Direito Internacional (Cooperação Internacional) pela Universidade de Lisboa.



## CAPÍTULO 1•

### BREVE PANORAMA

O avanço tecnológico da última década tem submetido a sociedade a transformações nunca antes vividas em tão curto espaço de tempo. As regras e os espaços de convivência têm-se alterado e ganhado cada vez mais suporte tecnológico. Tal fato gera um foco de tensão sobre as estruturas normativas e organizacionais da sociedade, na medida em que a apropriação social e sua significação cultural são determinantes para a aplicação das regras e normas sociais vigentes ou para a sua transformação.

À medida que a incorporação tecnológica aos processos sociais aumenta, amplia-se a alimentação da imaginação e da criatividade humanas, por vezes fruto de um processo reflexivo de autopreservação, no questionamento sobre onde iremos parar com tamanho avanço e quais riscos corremos. Alimentada por uma literatura e uma filmografia de ficção científica, é pensamento corrente da sociedade as consequências do avanço da robótica e da Inteligência Artificial (IA). Há, de forma geral, um medo de que as máquinas, uma vez tornadas inteligentes, transformem-se numa ameaça à própria existência humana.

No plano da realidade, todavia, verifica-se que a discussão normativo-regulatória em torno da tecnologia da informação decorre da reflexão sobre os resultados das aplicações dessas tecnologias e das condutas de negócio que exploram o uso da tecnologia. Assim, ao se observar com mais detalhes, busca-se a regulação ou o estabelecimento de controle não exatamente ou exclusivamente das máquinas, mas de seu uso ou exploração por parte de organizações ou pessoas.

Em essência, a atividade regulatória busca preservar um *status quo* de direitos e garantias, principalmente os relacionados aos direitos humanos, a fim de que a inovação e a evolução tecnológica não submetam indivíduos e parte da sociedade a condições que já reconhecidamente a sociedade entende que não sejam razoáveis ou ilícitas.

Em outra medida, busca-se que haja razoabilidade na aplicação de controles e regulações de forma que a inovação tecnológica entregue seu valor à sociedade, com a melhoria de seus processos, a redução de custos de suas estruturas, e a melhoria das condições de vida de forma geral.

O desenvolvimento de veículos autônomos inteligentes gera a lícita expectativa de que a perda de vidas no trânsito seja reduzida significativamente, em face da redução da quantidade e da gravidade de acidentes. Gera, ainda, a expectativa de redução significativa de custos de transporte, pelo aumento de eficiência e pela redução de perdas com cargas e de tempo.

Assim, motivadas por seus benefícios, as pesquisas na implementação de veículos autônomos inteligentes têm permitido o desenvolvimento de diversas tecnologias assistivas que já vêm sendo utilizadas no mercado automobilístico, como controle de velocidade, auxílio ao estacionamento, controle de estabilidade, entre outras.

Contudo, os investimentos em pesquisa têm-se intensificado na última década, resultando na apresentação de protótipos de veículos que dispensam de forma total ou parcial a presença de um condutor dentro do veículo.

Ainda sem saber se o cenário do veículo sem volante ou pedais destinados a um condutor humano será aquele que se consolidará como o grande mercado consumidor, é razoável que as discussões regulatórias aconteçam a fim de que se avaliem, *a priori*, quais os limites e os parâmetros legais e normativos a serem aplicados a essas tecnologias e produtos, bem como quais exigências serão estabelecidas para viabilizar seu uso em vias públicas.

Para o Direito, diversas preocupações se colocam ao se tratar de IA, robótica e de veículos autônomos inteligentes. Uma dessas preocupações se relaciona à responsabilidade civil, uma vez que o uso da tecnologia tende a diminuir, mas não afasta completamente a possibilidade de dano a bens ou pessoas. O novo cenário relevante é: a autonomia e a característica cognitiva implementadas nos algoritmos que controlam robôs e veículos poderiam gerar alteração nas interpretações das teorias de responsabilidade civil, bem como a necessidade de alterações legislativas?

O centro da pergunta de pesquisa inicialmente proposta estava relacionado à identificação dos elementos de análise necessários para se avaliar a responsabilidade objetiva do fabricante ou a responsabilidade subjetiva do proprietário nos acidentes envolvendo veículos inteligentes autônomos.

A metodologia inicial buscava compreender as experiências já desenvolvidas e descritas na doutrina no sentido de viabilizar a justificativa da criação de alguns mecanismos que se julgavam importantes para a determinação de responsabilidade em caso de acidente envolvendo um veículo autônomo inteligente. Imaginava-se haver ali uma ferramenta regulatória relevante e que, com a atuação do Ministério Público, pudesse vir a se tornar realidade.

Com efeito, conforme poderá ser melhor observado no *Capítulo 4*, mais do que respostas sobre o regime mais adequado a ser aplicado em acidentes com veículos inteligentes autônomos, verificou-se que as necessidades regulatórias são muito maiores do que a hipótese inicial. Assim, a pesquisa mostrou que a própria hipótese embutida na pergunta de pesquisa se tornou pequena diante das necessidades do setor. Desse modo, em vez de procurar responder ou validar a hipótese inicial, buscamos descrever os problemas e os desafios regulatórios, legislativos, e as necessidades de implementação de políticas públicas para que se tenha, de fato, um mercado consumidor de veículos autônomos inteligentes.

De forma geral, observou-se que a introdução dessa tecnologia no tráfego nacional deve ser antecedida de discussões pluridisciplinares e transversais envolvendo o Poder Público, a indústria e seus fornecedores, os operadores de transporte e de telecomunicação e a academia. Por um lado, os modelos de negócios e, por conseguinte, de regulação, ainda estão em aberto, fazendo com que escolhas específicas possam determinar melhor a alocação de responsabilidade a um motorista, a um fabricante ou a outros agentes, e até mesmo a novas figuras que poderão surgir na cadeia de produção de veículos autônomos. De outro lado, a ausência de um quadro legal específico é vista com inquietude pelos diferentes atores envolvidos no desenvolvimento de veículos inteligentes, que entendem ser necessário clarificar as regras de modo a assegurar juridicamente a atividade econômica que desenvolvem.

As discussões determinantes sobre os níveis de desempenho e a comparabilidade entre os desempenhos do homem e da máquina também precisam ser aprofundadas, uma vez que as capacidades e as limitações de cada paradigma são distintas. Os limites e as necessidades de coexistência entre tráfego autônomo e não autônomo, localidades, restrições técnicas, geográficas, entre outros, são questões abertas e que podem ser consideradas para um melhor desenho regulatório.

Em que pesem a pesquisa e o desenvolvimento de veículos autônomos estarem mais avançados na União Europeia (UE) em relação ao Brasil, verifica-se, conforme publicado da Resolução do Parlamento Europeu sobre Direito Civil na Robótica, que as discussões ainda estão em estágio preliminar, com a formulação de consenso sobre alguns problemas, premissas e necessidades, mas ainda com falta de clareza sobre os eventuais caminhos a serem seguidos. Há uma proposta quanto à regulação e ao paradigma escolhido para orientar as escolhas antevistas, mas não se têm resultados

concretos sobre seus impactos reais e sobre sua efetividade. Contudo, é um primeiro paradigma colocado e que serve de parâmetro.

Há que se considerar, porém, que ainda há um mercado em formação e uma indústria em desenvolvimento. Há que se considerar a existência de uma competição entre EUA, UE e outros países para a definição de padrões, ferramentas e meios a serem utilizados nessa indústria. Há que se considerar, ainda, uma clara competição entre os atores tradicionais (indústria automobilística) e os novos entrantes (Tesla, Waymo, Uber), que estão se unindo com diferentes atores para lançamento de novos produtos e serviços. Isso porque o veículo particular como hoje conhecemos tende a deixar de existir. E isso deve ser levado em consideração quando da análise das propostas existentes na resolução.

Por outro lado, tinha-se também como premissa que há certa carência no mundo jurídico, assim como para toda a sociedade, de informações sobre como são implementados algoritmos de IA, o que faz com que seus intérpretes aproximem suas abordagens das expectativas gerais da sociedade sobre o que é a IA. Tinha-se, como hipótese, que a explicação um pouco mais detalhada sobre como funciona a IA e como são implementados veículos autônomos inteligentes ajudaria a tirar o debate do plano fictício para um plano real e mais próximo daquilo que é de fato implementado nas universidades e nas empresas de desenvolvimento.

Naturalmente, as informações detalhadas sobre as implementações mais proeminentes evidenciadas pela mídia sobre veículos inteligentes, como as das empresas Waymo, Tesla e Uber, não estão disponíveis em artigos no mundo acadêmico, por razões de propriedade intelectual. Contudo, ao longo da pesquisa inicial, identificou-se a presença em território nacional de grupos de pesquisa com resultados relevantes em veículos autônomos. São os casos dos Projetos CaRINA, desenvolvidos no Laboratório de Robótica Móvel da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos, e do Projeto IARA, desenvolvido pelo Laboratório de Computação de Alto Desempenho da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Entendeu-se, assim, que a busca por contato com essas experiências seria um caminho mais interessante para a pesquisa e para a própria finalidade institucional futura do Ministério Público Federal. Foram feitos contatos com os grupos de pesquisa; porém, por limitações logísticas e financeiras, só foi possível uma visita física à USP São Carlos.

A visita nos permitiu conhecer em mais detalhes como de fato é implementado um carro autônomo, bem como os desafios enfrentados pelas equipes de pesquisa. Permitiu, ainda, conhecer o trabalho de outros grupos de pesquisa e sua produção acadêmica, como o da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Assim, em termos metodológicos, a experiência e a validação de constatações em campo permitiram a ampliação do espectro de contribuições de algo que seria a resposta a uma pergunta. De forma mais ampla, a resposta à pergunta de pesquisa é vista em todo o *Capítulo 4* e parte do *Capítulo 5*.

O texto está organizado de forma a melhor fornecer os elementos que subsidiem a resposta. No *Capítulo 2*, é feita uma revisão da literatura de responsabilidade civil, buscando entender sua aplicação no cenário de acidentes de trânsito. O *Capítulo 3* apresenta uma revisão e a explicação dos algoritmos de IA e sua existência histórica, a fim de melhor compreender seus mecanismos de representação do conhecimento, implementação e aprendizagem. Por fim, buscamos descrever como de fato é implementado um veículo autônomo inteligente e qual seu nível de dependência da IA. O *Capítulo 4* mapeia alguns dos principais desafios que a introdução de tais veículos ao sistema de trânsito pode trazer para a responsabilidade civil, considerando principalmente o sistema de responsabilidade automobilística brasileiro. Por fim, no *Capítulo 5*, cientes dos desafios jurídicos e regulatórios a serem enfrentados, buscaremos algumas propostas de soluções e de regulação para esses problemas e para que se viabilize de fato a presença de veículos autônomos inteligentes no Brasil.



## CAPÍTULO 2 •

### A RESPONSABILIDADE CIVIL EM ACIDENTES DE TRÂNSITO

A responsabilidade civil por danos decorrentes de acidentes de trânsito segue princípios, conceitos e normas da responsabilidade civil em geral. Por isso, antes de adentrar no tema da responsabilidade civil no trânsito, vale recapitular alguns aspectos gerais que são majoritariamente aceitos pela teoria de responsabilidade civil no Direito brasileiro.

#### 2.1 Responsabilidade civil

A noção de que o dano infligido por um indivíduo a outro deve ser punido ou reparado parece ser antiga nos sistemas jurídicos de sociedades europeias. Em tese que é adotada pela doutrina majoritária, Josseland (1941) identifica no direito romano as origens da responsabilidade civil contemporânea. Segundo essa tese, a responsabilidade civil, ou seja, o dever de responder pelo dano causado a outrem, nasce da violação do princípio jurídico *neminem laedere* ou *alterum non laedere*, isto é, não lesar ninguém. Nesse preceito se resume um dos pilares fundamentais da doutrina jurídica contemporânea, que é o da preservação do equilíbrio de direitos entre os indivíduos e da prevenção ao dano imerecido causado por uns em detrimento de outros.

Para a preservação desse equilíbrio, segundo a doutrina, os indivíduos submetidos ao sistema jurídico devem observar uma série de regras prescritas em duas fontes primárias de deveres jurídicos: (I) a *lei*; e (II) os *atos* de vontade que derivam seu fundamento de validade na lei e que, por isso, recebem a qualificação de *atos jurídicos* – ou de *negócios jurídicos* caso se constate um encontro de vontades. O dever de observar as regras formadas por qualquer uma dessas maneiras é chamado de *dever jurídico*, que difere de outros tipos de dever (ex.: dever moral) por ser imposto por um ordenamento jurídico positivado. Seguindo a formulação de Cavalieri Filho (2006), a inobservância desse dever, chamado então de *dever jurídico originário*, pode eventualmente vir a causar *dano* a um indivíduo. Quando isso ocorre, surge então uma derivação do dever jurídico originário chamada de *dever jurídico sucessivo*, que é o dever de reaver ou reparar o dano causado. A esse dever se dá o nome jurídico de *responsabilidade civil*.

Assim, na posição de Cavalieri Filho (2006), tendo em vista que a violação de dever jurídico é um ato antijurídico, pode-se dizer que a responsabilidade civil surge, em regra, de um dano advindo do *ato ilícito*. No Código Civil brasileiro de 2002, essa regra ficou consubstanciada no art. 927, parágrafo único e *caput*, c/c arts. 186 e 187. Isso significa que, se uma conduta causa dano, mas não é ilícita, então por via de regra não surge o dever jurídico sucessivo de reparação do dano (responsabilidade).<sup>1</sup>

No ordenamento jurídico contemporâneo, existem outras maneiras de promover a responsabilização pelo cometimento de atos ilícitos, sendo as principais a *responsabilidade administrativa* e a *responsabilidade penal* ou *criminal*. A principal distinção dessas duas formas de responsabilidade em comparação com a responsabilidade civil é que esta última tem como pressuposto a existência do dano, focando em promover sua reparação, enquanto as duas primeiras não necessariamente se associam à existência de dano nem têm como função extinguir o dano. Por isso mesmo, a consequência imediata da responsabilidade civil é a obrigação de remover o dano, visando idealmente a retornar ao estado de coisas anterior ao ato que promoveu desequilíbrio (*statu quo ante*), enquanto a consequência da responsabilidade penal é a mera subtração de direitos (patrimoniais, via multa, e/ou de ir e vir via detenção ou reclusão) e a da responsabilidade administrativa é variável conforme a circunstância.

No Brasil, as três formas de responsabilidade são independentes, o que significa que uma pessoa pode ser concomitantemente responsabilizada em todas as três esferas ou apenas em alguma(s). No entanto, existem certas nuances nessa interação entre as responsabilidades, havendo influências mútuas que são muito importantes para o direito automobilístico. Assim, na prática, preserva-se a independência entre cada esfera de jurisdição, embora adotando regras que assegurem certa consistência entre elas, especial-

---

1 Vale salientar que, como o próprio autor reconhece, esse entendimento não é inteiramente prevalecente na doutrina mais apegada aos clássicos de direito romano, que tende a considerar que a responsabilidade objetiva não surge a partir de ato ilícito. Ainda, há exceções expressas, porém poucas, sobre ato lícito que gera responsabilidade civil, a exemplo do dever de indenizar dano cometido em caso de perigo iminente (Código Civil, art. 188, II, c/c art. 929). De todo modo, o fundamento da responsabilidade civil contemporânea repousa sobre a ideia do dano imerecido. Entendemos que a adoção de um ou outro posicionamento não tem impacto relevante para o nosso estudo, sendo cabível a adoção de entendimento divergente por parte da pessoa leitora sem prejuízo à apreciação do presente texto.

mente entre a esfera cível e a esfera criminal – segundo Matielo (2000, p. 59), uma “intercomunicação de jurisdições”. Nesse sentido, os Códigos Penal (CP), Civil (CC), de Processo Penal (CPP) e de Processo Civil (CPC) trazem as regras aplicáveis. A sentença penal, quando condenatória, torna certa a obrigação de indenizar o dano causado pelo crime (CP, art. 91, I), conferindo à vítima um título executivo extrajudicial para a reparação cível (CPP, art. 63; CPC, art. 515, VI). Quando de qualquer modo fixa a autoria e a existência do fato, a sentença penal veda, ainda, a rediscussão dessas duas matérias em relação ao réu (CC, art. 935), podendo, no entanto, haver discussão quanto a outras pessoas. Quando absolutória, não costuma excluir a possibilidade de responsabilização civil, embora existam exceções tais como as excludentes de ilicitude (ex.: legítima defesa), a apuração da inexistência do fato e outras situações previstas nos dispositivos acima mencionados do CPC e do CPP e ss.

A responsabilidade civil pode ser classificada de diversas maneiras, o que tem eventuais consequências práticas para a apuração do dever de reparação. Uma primeira classificação é quanto à fonte da obrigação violada, dentre as duas fontes citadas anteriormente (lei ou atos de vontade). A responsabilidade gerada pela violação de regras firmadas pela vontade de pessoas em sua esfera privada por atos ou negócios jurídicos é chamada de *responsabilidade civil contratual*. De outro lado, quando não existe dever jurídico contratual prévio entre a vítima e a pessoa autora do dano, ou, de maneira mais geral, quando o dever jurídico violado está estabelecido em lei (em sentido amplo), ocasiona-se a *responsabilidade civil extracontratual*.

Para que um evento ocasione o surgimento de uma responsabilidade civil correspondente, certos pressupostos devem ser atendidos. O primeiro deles é a existência da *conduta de um agente* que gere uma obrigação de indenizar, conduta que em regra é ilícita e pode consistir tanto em uma ação quanto em uma omissão, a depender do caso.<sup>2</sup> Conforme veremos adiante, esse pressuposto é relevante ao debate sobre responsabilidade quanto a carros autônomos e inteligência artificial em geral, na medida em que algumas correntes sugerem a criação de novos tipos de agentes com a finalidade de que seja possível lhes atribuir a conduta e a consequente responsabilidade.

---

2 Pressuposto que está expresso nas regras anteriormente mencionadas do Código Civil. Sendo em regra o ato ilícito o gerador de responsabilidade, e tendo em vista que a categoria a que denominamos ato no direito é a conduta de um agente, segue que a responsabilidade é gerada por uma conduta. Nesse sentido, ver Cavalieri Filho (2006) e Venosa (2017).

O segundo pressuposto constitui a existência de *dano*, moral ou material (STOCO, 1999). Não havendo dano, não há nenhuma situação jurídica anterior que tenha sido desequilibrada, portanto tampouco havendo violação do princípio *neminem laedere*. Assim, mesmo que uma conduta seja ilícita, se esta não tiver acarretado lesão a direito alheio, não cabe a ninguém a responsabilidade de reparar, pois não há nada a reparar. A conduta ilícita pode, em qualquer caso, ser responsabilizada de outra forma, por meio de sanções tais como a multa administrativa ou a pena criminal. No Direito brasileiro contemporâneo, o retorno ao equilíbrio anterior é feito por meio de realocação de patrimônio entre a pessoa responsável e a vítima. Como indica Matielo (2000), se o dano a ser restituído é material, fala-se em indenização, uma vez que a transferência patrimonial tem o potencial de equivaler à extensão do dano devido, tornando a vítima indene. Contudo, se o dano é moral, fala-se em reparação, pois a transferência de patrimônio não equivale ao dano psíquico sofrido, mas apenas reconhece e atenua o sofrimento da vítima.

Por fim, o terceiro pressuposto comumente identificado na doutrina é a existência de *um nexo causal entre a conduta e o dano*. Não é qualquer conduta ilícita que enseja a responsabilidade, por mais que tenha havido dano. É necessário que se comprove que o dano adveio da conduta, em algum sentido jurídico de causalidade. As teorias de causalidade são muitas, tanto no Direito quanto na Filosofia, e apresentar uma síntese dessa discussão foge do nosso escopo. Tal variedade decorre da própria dificuldade da noção de causa e efeito, que traz elementos de recursividade e concorrência, sendo suas implicações forenses no Direito de difícil elucidação quando a cadeia causal do caso concreto é complexa. A doutrina brasileira se divide quanto a qual teoria teria sido adotada pelo Código Civil de 2002, mas as principais vertentes são as da teoria da causalidade direta e imediata e, mais preponderantemente, da teoria da causalidade adequada. Como veremos adiante, a questão da causalidade também é importante para o debate sobre a responsabilização em acidentes envolvendo carros autônomos, na medida em que a identificação de causa e efeito em sistemas complexos – tais como alguns sistemas de inteligência artificial usados para conduzir tais veículos – é bastante problemática até mesmo de um ponto de vista técnico-científico.

Na tradição de Direito Civil que o Brasil segue, a responsabilidade civil esteve durante muito tempo atrelada à ideia de que a conduta causadora do dano deveria ser de alguma maneira reprovável, ou seja, ação ou omissão passível de um juízo de valor negativo, um juízo de censura (JOSSERAND, 1941; COSTA, 1991). Em outras palavras, havia um quarto pressuposto necessário ao

surgimento de todo e qualquer dever jurídico de responsabilidade civil, que é o elemento da *culpa* ou da *conduta culposa*. No século XX, houve uma transformação importante na responsabilidade civil, passando-se ao desenvolvimento doutrinário, jurisprudencial e legal a ideia de que a culpa não necessitaria ser evidenciada em todas as situações para que surgisse a responsabilidade civil por um dano, havendo casos em que a culpa seria desnecessária (JOSSERAND, 1941; COSTA, 1991). Assim, nos dias de hoje, a doutrina majoritária reconhece que a culpa não é mais um pressuposto universal, havendo regras de responsabilidade que a exigem e outras regras que dela prescindem. A responsabilidade civil que necessita do pressuposto de culpa para ser observada é chamada de *responsabilidade civil subjetiva*, em que a discussão foca no elemento volitivo do agente causador do dano. Quando esse pressuposto não é necessário, estamos diante de uma *responsabilidade civil do tipo objetiva*, conceito que se fundamenta na discussão de outro pressuposto: o do *risco* inerente à atividade desenvolvida pelo agente responsável.

A noção de culpa (em sentido amplo) está associada à falta voluntária de cuidado do agente na sua obrigação de conhecer e observar um dever jurídico. A culpa pode vir em diferentes gradações ou modalidades, o que pode modificar tanto a quantidade devida para fins de reparação quanto a pessoa que será considerada responsável.<sup>3</sup> O quesito da vontade (falta voluntária) é também importante na avaliação da culpa, uma vez que o agente pode ser inimputável (ex.: pessoa menor de idade ou incapaz) ou pode não ter vontade livre ao exercer a conduta (ex.: coação sob grave ameaça, hipnose, sonambulismo), o que lhe exclui a culpa.

A responsabilidade objetiva advém da consideração de que as atividades humanas, sobretudo as atividades econômicas, são inerentemente geradoras de perigos ou riscos, algo que teria sido exacerbado na sociedade moderna e industrial (LIMA, 1998). Assim, é possível dizer que a responsabilidade civil objetiva surge quando a atividade arriscada ou perigosa gera dano a outra pessoa, violando algum direito desta, o que significa que o dever jurídico sucessivo (de indenizar) tem fundamento na violação de

---

3 No Direito Penal, a noção jurídica de culpa engloba os conceitos de *dolo*, que é a vontade expressa do agente de atingir com sua conduta um resultado que é ilícito, e de *culpa em sentido estrito*, que advém da negligência, da imprudência ou da imperícia do agente, resultando de todo modo no resultado ilícito. Essa diferenciação nem sempre é feita na responsabilidade civil, havendo doutrina que coloca o dolo como uma forma de culpa considerada grave.

um dever jurídico originário (de cuidado ou de segurança) (CAVALIERI FILHO, 2006). A responsabilização objetiva tende a ser agnóstica a respeito da noção de reprovabilidade moral da conduta (culpa), podendo um agente ter agido de maneira moralmente irreprovável, porém, mesmo assim, assumindo um risco que acabou gerando um dano.

Uma consequência importante da responsabilidade objetiva é que ela acarreta uma inversão na regra de ônus da prova. Quando a responsabilidade é subjetiva, em regra recai sobre a vítima provar a culpa do agente causador de dano. Entretanto, na responsabilidade objetiva é mais comum que recaia sobre o agente causador a necessidade de provar que agiu de acordo com o dever de segurança para evitar o dano advindo do risco que gerou. Contudo, no caso dos acidentes de trânsito, mesmo quando a responsabilidade é subjetiva, o ônus da prova muitas vezes recai sobre a parte ré, por haver frequentes situações de culpa presumida ou culpa contratual. Vale advertir que as modalidades objetiva e subjetiva não são excludentes, podendo a vítima tentar provar que houve culpa em uma situação em que já existiria responsabilidade objetiva pela mera conduta do agente.

Segundo Venosa (2017), no Direito brasileiro há duas fontes básicas de responsabilização objetiva: de maneira específica pela lei, quando esta estipula a atribuição do dever de cuidado a alguma figura numa relação jurídica determinada (ex.: produto defeituoso em relação de consumo), ou advinda da ponderação da juíza ou do juiz sobre o caso concreto por meio da regra geral contida no art. 927, parágrafo único, do Código Civil. Evidentemente, tendo em vista que, no limite, toda atividade pode ser vista como geradora de risco, ponderações desse tipo se valem de teorias de risco presentes na doutrina, incorporando juízos sobre a adequabilidade das medidas de cuidado tomadas pelo agente gerador de risco e outros fatores. Foge do escopo desta revisão discutir em detalhes as diversas teorias e modalidades de risco debatidas no Direito brasileiro.

## 2.2 Responsabilidade e trânsito

O Direito de Trânsito é um ramo cujas regras de responsabilidade são razoavelmente complexas, podendo envolver uma série de elementos complicadores da análise, que vão desde perícias e seguros obrigatórios e facultativos até vias em estado de conservação precário e veículos adquiridos sob o regime consumerista. Cada um desses fatores pode afetar a atribuição, a modalidade ou a existência de responsabilidade civil no caso concreto, in-

corporando regras de responsabilidade civil geralmente atribuídas a outros ramos de atividade, incluindo a responsabilidade: do fornecedor no direito consumerista, do Estado na prestação de serviço público (conservação das vias), do empregador, da seguradora, da concessionária de rodovia, da locadora de veículo, do transportador, entre outros. Da mesma forma, existe uma variedade de situações práticas envolvendo veículos que geram dano indenizável, em múltiplas configurações que podem envolver apenas um veículo (ex.: derrapagem, atropelamento), dois ou mais veículos (ex.: colisões, derrubada de partes ou dejetos na pista), veículos parados ou em movimento, diferentes tipos de veículos, variadas condições da pista e jurisdições, pedestres e animais, entre outras. Com efeito, Matielo (2000) lista pelo menos 41 hipóteses comuns de acidente, e Rizzardo (2014) lista mais de 50.

Assim, apesar da tentativa por parte de alguns doutrinadores de encontrar uma regra geral, apontando a responsabilidade civil no trânsito como subjetiva e extracontratual (aquiliana),<sup>4</sup> a pluralidade de situações que, por tal entendimento, seriam classificadas como exceções é tamanha que a doutrina costuma em vez disso analisar tipos de situações de trânsito específicas, havendo muitas delas em que a responsabilidade é claramente objetiva (a exemplo das responsabilidades do transportador e do Estado), ou claramente contratual (a exemplo do contrato de transporte). Portanto, não é possível fazer uma categorização única da responsabilidade civil no trânsito, tal como afirmações de que ela recairia em apenas um tipo de algum esquema classificatório dado.

Isso implica que qualquer análise do impacto das tecnologias sobre a responsabilidade civil automobilística, como tentamos fazer neste estudo, deve levar em consideração as diferentes famílias de situações práticas que poderiam sentir esse impacto. No caso da tecnologia de carros sem motorista, é possível dizer que uma parcela muito significativa de situações de trânsito seria por ela afetada porque as projeções corriqueiras sobre essa inovação, com as quais ora trabalhamos, apontam para um cenário de uso bastante amplo, com empregabilidade a todo tipo de transporte e pilotagem comercial, incluindo modais de transporte não terrestres (ver *Capítulo 3*). Ao que tudo indica, a tecnologia de carros autônomos será impactante justamente por operar uma ruptura transversal em todo o sistema de trânsito ao eliminar a necessidade de motoristas humanos em praticamente qualquer situação. Com isso, apenas alguns cenários de responsabilidade não serão imediatamente afetados,

---

4 Ver, por exemplo, Rizzardo (2014).

tais como acidentes com veículos estacionados e desligados ou motoristas em estado de embriaguez, sem habilitação ou menores de idade. Entretanto, até mesmo essas situações podem ser afetadas se o acidente envolver um veículo em tal estado e outro veículo operando automaticamente.

Uma revisão ampla e aprofundada sobre cada hipótese de responsabilidade automobilística possivelmente afetada não é factível no escopo do presente estudo nem desejável, uma vez que a regra a ser aplicada em cada caso ainda há de ser definida pela própria evolução do ordenamento jurídico (novas leis e interpretações judiciais). Não obstante, o que já é possível discutir – e com efeito já vem sendo discutido na literatura estrangeira, por já se conhecerem características próprias das soluções tecnológicas que vêm sendo desenvolvidas pela indústria – são desafios e possibilidades de interface entre tais soluções e alguns temas recorrentes de responsabilidade civil.

Mais especificamente, os carros autônomos trazem desafios conspícuos para a discussão sobre a culpa, ou sobre a dificuldade de atribuir culpa e intenção a um sistema autônomo, o que suscita debates acerca de: ampliação de escopo da responsabilidade objetiva, do seguro e da responsabilidade consumerista do fornecedor por vício de bem ou serviço; (im)possibilidade de perícia e de produção de prova sobre decisões tomadas pela máquina; emissão de normas específicas de risco e responsabilização (e de outra natureza regulamentar) sobre o uso de algoritmos; ética, incentivos econômicos e função da indenização; situações de culpa concorrente; e até mesmo eventual criação de uma nova modalidade de personalidade no ordenamento jurídico. As propriedades da tecnologia que sustentam tais especulações serão mais bem detalhadas no *Capítulo 3*. Já os desafios que acabamos de mencionar serão tratados no *Capítulo 4*. Por ora, é útil revisar como esses temas são tratados pelo Direito de Trânsito contemporâneo.

### 2.3 A responsabilidade civil automobilística brasileira

A responsabilidade civil no direito automobilístico brasileiro pode emanar de diferentes fontes. Primeiramente, é necessário notar que não existe um campo próprio de responsabilidade jurídica no trânsito, mas, sim, casos específicos das regras gerais de responsabilidade civil que se materializam no ambiente de trânsito e que, por isso, demandam solução especializada. Assim, a fonte primordial do dever de reparar danos ocorridos no trânsito são as regras gerais de Direito Civil que emanam da Constituição Federal (CF) e do Código Civil e que estipulam o quadro jurídico-conceitual básico para a

apuração da responsabilidade civil. Assim, dentre algumas balizas gerais aplicáveis, podemos citar: a responsabilidade do pai por conduta do filho menor, do empregador por conduta do empregado (art. 932 do Código Civil e seus incisos), ou do Estado por conduta de seus agentes em serviço (art. 37, § 6º, da CF); o cabimento do dano moral (art. 5º, X); o reconhecimento da responsabilidade objetiva em várias instâncias do ordenamento brasileiro; as considerações doutrinárias sobre causalidade e risco; as diferentes gradações e modalidades de culpa; entre outras. Por esse motivo, casos de acidentes de trânsito podem necessitar de normas específicas a depender do caso, a exemplo das normas de Direito Administrativo quanto à responsabilidade objetiva do Estado, dos contratos de concessão, entre outras.

Além das regras gerais do Direito Civil, existem regras específicas sobre responsabilidade automobilística no Código Civil de 2002 em seus arts. 730 e ss., em que se disciplinam as normas aplicáveis ao *contrato de transporte*. Esse contrato de adesão é a principal fonte contratual de responsabilidade civil no trânsito e tem grande campo de aplicação, visto que é firmado sempre que ocorre o transporte oneroso de pessoas ou coisas. Assim, um frete, uma passagem de ônibus, uma corrida de táxi ou até mesmo uma carona feita mediante remuneração são, todas essas, situações regidas pelas regras de responsabilidade de tal espécie contratual. Como principal regra desse tipo de contrato, tem-se que o transportador deve responder pelos danos causados às pessoas transportadas e a suas bagagens e pelo valor dos objetos em sua custódia. Uma parte da doutrina considera que a responsabilidade no contrato de transporte é objetiva, o que no caso do transporte de pessoas estaria explicitado nos arts. 734 e 735 do Código Civil. O contrato de transporte gratuito (ex.: carona), embora excluído explicitamente do regramento do Código Civil (art. 736), também pode acarretar responsabilidade civil na hipótese em que os danos causados pelo transportador resultarem de dolo ou culpa grave,<sup>5</sup> por força da Súmula n. 145 do Superior Tribunal de Justiça (STJ).

O Código Civil também traz, em seus arts. 778 e ss., normas específicas sobre outra espécie contratual comum no trânsito, que é o *contrato de seguro (privado, i.e., facultativo)*, cuja modalidade mais relevante para esta pesquisa é o seguro de responsabilidade civil. O contrato de seguro é um contrato que visa a proteger a parte contratante de riscos, tendo como objeto imanente a própria aleatoriedade no acontecimento do fato contra o qual

---

5 Sobre essa gradação da culpa, v. *Nota 3*.

incide. No caso do trânsito, a seguradora tem responsabilidade civil solidária sobre o dano causado pelo segurado, respeitando o limite do valor contratado, podendo ser demandada em litisconsórcio, embora não sozinha, pela vítima, conforme estipulam as Súmulas n. 529 e n. 537 do STJ. Vale frisar que, mesmo quando há um contrato de seguro de responsabilidade civil, não há necessariamente uma responsabilidade do tipo contratual, pois, nos acidentes de trânsito, esse contrato visa a transferir as consequências econômicas do dever de reparar geralmente acarretado por violação de dever originário legal. Assim, o exercício regular dos direitos e deveres advindos do contrato de seguro não modifica a fonte da responsabilidade civil devida em razão do acidente, que costuma ser extracontratual.<sup>6</sup> Isso porque o contrato de seguro não é firmado entre a vítima e o agente do dano, mas, sim, entre o agente responsável e um terceiro (no caso, a seguradora).

Não obstante, o descumprimento do contrato de seguro por qualquer das partes contratantes – isto é, uma situação irregular ou ilícita relacionada ao contrato em si – pode acarretar uma responsabilidade civil contratual entre essas partes. Nesse sentido, o Código Civil estipula regras voltadas a evitar abusos das partes, esquemas fraudulentos e cláusulas que contrariem “normas de ordem pública” (GONÇALVES, 2011, p. 508) nessa modalidade contratual. Vale observar desde logo que, na medida em que o contrato de seguro é aventado como possibilidade de remédio de alguns problemas envolvendo carros autônomos, conforme discutiremos melhor na *Seção 4.6*, é possível que tais cautelas legais sejam tornadas obsoletas com o advento dessa tecnologia, pois a gestão de risco associado ao comportamento de softwares pode acabar se mostrando inteiramente diferente da gestão de risco associado à conduta de uma carteira de segurados motoristas ou proprietários de veículos que agem de maneira independente.

O contrato de seguro de responsabilidade civil é facultativo. Entretanto, no Brasil, existe outro tipo de seguro de responsabilidade civil que é *obrigatório* para todos os proprietários e transportadores de veículos automotores, o chamado Seguro de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Vias Terrestres (DPVAT), previsto pela Lei n. 6.194, de 19 de dezembro de 1974, e regulado pelo Sistema Nacional de Seguros Privados, instituído no Decreto-Lei n. 73, de 21 de novembro de 1966. O DPVAT tem como objetivo cobrir os

---

6 Nesse sentido, v. AgInt no AREsp 897.028/RJ, rel. min. Marco Aurélio Bellizze, Terceira Turma, julgado em 22.11.2016, *DJe* 25 nov. 2016.

danos pessoais e patrimoniais causados a vítimas de acidentes em todo o território nacional mediante um prêmio módico e acessível. Sendo um seguro obrigatório cuja contratação não depende da vontade das partes e tendo regulamentação própria, Gonçalves (2011) considera que o DPVAT não pode ser visto como um contrato, mas, sim, meramente uma obrigação. Os danos cobertos pelo DPVAT englobam reparações por morte, invalidez permanente e despesas de assistência médica e suplementares. Conforme longa construção jurisprudencial do STJ sobre o assunto, o DPVAT é um caso de responsabilidade civil objetiva no trânsito, em que não se questiona a presença ou não de culpa para que a seguradora seja acionada a reparar a vítima até o limite estabelecido em lei, o que ocorrerá mesmo nos casos de inadimplemento do prêmio do seguro pelo agente responsável (PEREIRA FILHO, 2013). Por ser uma construção brasileira e possibilitar uma gestão mais ampla e centralizada do risco social no trânsito, a instituição do seguro obrigatório nacional objetivamente responsabilizado pode colocar o Brasil em posição de destaque nas discussões sobre responsabilidade civil de carros autônomos, conforme se observa na *Seção 4.6*.

Além das regras específicas do Código Civil, podem incidir sobre o trânsito regras gerais de responsabilidade oriundas do Direito do Consumidor, em especial do Código de Defesa do Consumidor, quando há uma violação de dever jurídico consumerista em relação ao fornecimento de bem (ex.: carro vendido com defeito) ou serviço (ex.: transporte que não atende as condições especificadas). Essas regras podem vir a ser importantes com a introdução dos carros sem motoristas, a depender da configuração da indústria desse novo tipo de produto, na medida em que os condutores humanos serão substituídos por softwares e/ou serviços de manutenção de software, cujos fornecimento ou prestação estarão submetidos ao regime consumerista.

Apesar de a fonte de obrigações de responsabilidade automobilística provir majoritariamente das bases contratuais ou legislativas gerais apontadas acima, as balizas concretas de maior aplicação para a aferição de responsabilidade automobilística costumam ser os regulamentos direcionados aos participantes do trânsito, principalmente os condutores de veículos, mas também transeuntes, passageiros e outros participantes. Nessa área, as normas costumam se concentrar em tratados internacionais, legislação interna e regulamentação administrativa. Os principais tratados internacionais relativos ao assunto no Brasil são a Convenção de Viena sobre o Trânsito Viário, promulgada no Brasil pelo Decreto n. 86.714, de 10 de dezembro de 1981, e o Protocolo de São Luiz sobre Matéria de Responsabilidade Civil Emergente de

Acidentes de Trânsito entre os Estados-Partes do Mercosul, promulgado pelo Decreto n. 3.856, de 3 de julho de 2001.

Por sua vez, a legislação tende a se concentrar quase que inteiramente no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), Lei n. 9.503, de 23 de setembro de 1997, e mesmo a legislação específica sobre o assunto tende a buscar alterar o próprio CTB<sup>7</sup> em vez de formar regramentos esparsos que são comuns em outras áreas do Direito (ex.: no Direito Penal). O CTB institui, ainda, a competência de entidades governamentais responsáveis por fazer o trânsito em vias públicas funcionar, compostas por órgãos federais (ex.: Conselho Nacional de Trânsito – Contran, Polícia Rodoviária Federal), estaduais (ex.: Conselhos Estaduais de Trânsito – Cetrans, Polícias Militares) e municipais (prefeituras), e conhecidas coletivamente como Sistema Nacional de Trânsito (SNT), que emite a maioria das normas administrativas de regulamentação do trânsito.

O conjunto de normas composto pelos tratados internacionais, o CTB e os diplomas administrativos será referido neste estudo simplesmente como *regulamento de trânsito*. O regulamento de trânsito é o principal balizador para a apreciação de casos de responsabilidade civil automobilística. Ele institui deveres e direitos no trânsito em diversas hipóteses, desde as mais gerais (ex.: princípios nos tratados e no CTB) até as mais específicas (ex.: normas atinentes a vias específicas ou zonas municipais). Além disso, estabelece parâmetros para a aferição de nexo de causalidade e de culpa.

A primeira característica do CTB é a tipificação de uma série de crimes de trânsito em seus arts. 302 a 312, tais como o homicídio e a lesão corporal culposos na direção de veículo automotor. Tendo em vista a extensão do rol de crimes previstos, muitos casos de responsabilidade civil acabam tendo sua discussão de alguma forma fixada ou pautada pela apreciação havida em juízo criminal. É evidente que, sendo a responsabilização criminal personíssima e estritamente dependente do elemento volitivo (culpa), com menos espaço para criação jurisprudencial, e sendo todos os crimes previstos no CTB, exceto o do art. 310,<sup>8</sup> direcionados a condutores (humanos) de veículos,

---

7 A esse exemplo, v. o novo regime de motoristas particulares, regulamentado pela Lei n. 13.103, de 2 de março de 2015, e a chamada “Lei Seca” (Lei n. 11.705, de 19 de junho de 2008), ambos alterando o CTB em vez de fazer legislação esparsa.

8 Dispositivo que tipifica a conduta de: “Permitir, confiar ou entregar a direção de veículo automotor a pessoa não habilitada, com habilitação cassada ou com o direito de dirigir suspenso, ou, ainda, a quem, por seu estado de saúde, física ou mental, ou por embriaguez, não esteja em condições de conduzi-lo com segurança”. É importante notar, no

a inserção de carros sem motoristas pode deixar lacuna importante na legislação penal, cuja gravidade repressiva importa no sentido de desestimular a ocorrência dos fatos típicos em questão. Isso pode ser relevante para a apreciação de casos de responsabilidade civil, não só porque se perde a baliza do juízo penal, com sua maior exigência de nível de prova e perícia, mas também porque as normas de responsabilidade civil podem subitamente se tornar as guardiãs mais diretas dos bens jurídicos – ou, no jargão civilista, da prevenção dos danos – atualmente tutelados por dispositivos criminais.

O CTB também atribui expressamente às entidades do SNT a responsabilidade objetiva por “danos causados aos cidadãos em virtude de ação, omissão ou erro na execução e manutenção de programas, projetos e serviços que garantam o exercício do direito do trânsito seguro” (art. 1º, § 3º). Esse dispositivo, conjugado com o art. 37, § 6º, da CF, faz com que alguns doutrinadores entendam pela existência de responsabilidade por via de regra objetiva do Estado nas reparações de acidentes de trânsito envolvendo veículos de sua propriedade, seus agentes na condução de veículos, ou quando o acidente for causado por condições que recaem na competência do SNT, tal como a má conservação das vias ou a sinalização precária (PARIZATTO, 2011). A responsabilidade objetiva do Estado nesse caso é uma responsabilidade omissiva, por se omitir a executar uma função que seria de sua competência.<sup>9</sup> Se a via em questão é objeto de concessão pública, no entanto, prevalece a responsabilidade objetiva porque a jurisprudência reconhece a regra de responsabilidade do Direito do Consumidor (BERNARDO, 2009). Vale notar que a outra forma de se responsabilizar objetivamente o Estado no trânsito é pela responsabilidade comissiva por danos causados em acidentes envolvendo veículos de sua propriedade.

Além das regras de responsabilidade penal e do SNT contidas no CTB, há uma série de regras específicas de responsabilidade administrativa, com todo um sistema de exigências regulamentares e de penalidades de diferentes gradações associadas ao descumprimento, que podem envolver desde simples multas a retenções de veículo e suspensões do direito de dirigir. É assim que, por exemplo, a pessoa deve passar por uma série de procedimentos de aprendizado e avaliação para que obtenha a habilitação para dirigir veículo

---

entanto, que até mesmo esse fato típico poderia ocorrer na hipótese de carros autônomos que possibilitem a retomada de controle por condutor humano.

9 A jurisprudência nem sempre entende nesse sentido, havendo muitos julgados que exigem a prova da culpa do Estado, i.e., a responsabilidade subjetiva.

automotor, bem como observar diversos requisitos de segurança do veículo e dos passageiros. O CTB estabelece uma série de infrações típicas em seus arts. 161 e ss. Tais prescrições, em conjunto com outras regras de cuidado dispostas no diploma, acabam servindo de balizas de comportamento utilizadas pela doutrina e pela jurisprudência para interpretar e aplicar as normas de responsabilidade civil, adequando cada caso concreto quanto a questões como a modalidade de culpa ou risco observada, as causas excludentes de culpa, o nexo de causalidade e os deveres de cuidado esperados do agente.

Entretanto, a harmonização entre as balizas de comportamento e as regras de responsabilidade administrativa e penal do regulamento de trânsito não é algo predefinido em nenhuma posituação anterior, o que faz com que haja espaço para a interpretação doutrinária e judicial e, por consequência, para que interpretações divergentes se evidenciem em uma gama razoável de casos. Como seria de se esperar, as diversas posições interpretativas em tais debates quase sempre se apoiam sobre justificativas atinentes a expectativas de comportamento dos *agentes humanos, em especial dos condutores*, o que continua ocorrendo mesmo quando uma interpretação se fixa como majoritária. Essa constatação nos leva a concluir que uma reinterpretação massiva do regulamento de trânsito deverá ser operada para extrair novas regras de responsabilidade que se fundamentem em expectativas de comportamento de *condutores não humanos*. Isso nos convidará, no *Capítulo 5*, a refletir sobre a própria possibilidade de uma reinterpretação tão ampla e alternativas a um tal movimento, como uma nova regulação ou codificação. Por ora, vale ilustrar alguns casos recorrentes nas lições de responsabilidade automobilística.

Primeiramente, é de se observar que há parte da doutrina que considera que o mero descumprimento de certas determinações regulamentares seria caracterizador da culpa em acidentes de trânsito, em modalidade de culpa que a doutrina civilista chama de *culpa contra a legalidade* (SILVA, 1983). Assim seria, por exemplo, o caso do condutor inabilitado envolvido em acidente. Mais recentemente, a tese da culpa contra a legalidade vem sendo prejudicada em favor de outras interpretações – responsabilidade objetiva ou, mais comumente, subjetiva com presunção de culpa. Em qualquer caso, poderia haver “softwares não habilitados” em carros autônomos? O procedimento de habilitação é determinado pela regulação. Portanto, na ausência de nova posituação, a responsabilidade civil seria reinterpretada a partir da complexa interação entre aplicações das regras gerais civilistas em conjunção com a regulação infralegal.

Outro exemplo é o caso da responsabilidade da pessoa proprietária do veículo. Não existe regra no regulamento de trânsito que preveja a responsa-

bilidade do proprietário pelos danos decorrentes de acidente quando o condutor é um terceiro. Entretanto, construiu-se interpretação majoritária de que o proprietário seria responsável solidariamente, em decorrência de provisões gerais do Direito Civil sobre a chamada *responsabilidade pelo fato da coisa*. Não obstante a aceitação majoritária dessa responsabilidade, ainda se discute se esta seria uma modalidade de responsabilidade objetiva (SILVA, 2017a) ou de responsabilidade subjetiva com culpa presumida (RIZZARDO, 2014), em que o ônus da prova é invertido, admitindo-se remoção da responsabilidade em casos específicos (no caso, presunção relativa ou *juris tantum*). Seja objetiva ou subjetiva, as justificativas para a aplicação de responsabilidade solidária nesse caso costumam ter uma dimensão prática:

Razões de ordem objetiva fizeram prevalecer a responsabilidade do proprietário do veículo causador do dano. A vítima fica bastante insegura ao acontecer o evento diante do anonimato da culpa, problema cada vez mais acentuado, pois enormes são as dificuldades na apuração do fato. A garantia da segurança do patrimônio próprio, a tentativa de afastar as fraudes, a ameaça do não ressarcimento dos prejuízos sofridos e o frequente estado de insolvência do autor material do ato lesivo somam-se entre os argumentos a favor da responsabilidade civil do proprietário, toda vez que o terceiro, na direção de um veículo, ocasiona ilegalmente um prejuízo a alguém. (RIZZARDO, 2014, p. 85).

A justificativa é interessante porque, conforme veremos, em carros autônomos, a situação de haver um proprietário diferente do condutor deverá ser muito mais comum. As regras de responsabilidade, no entanto, poderão se fundar na mesma justificativa?

Divergência semelhante entre responsabilidade objetiva e subjetiva com presunção de culpa ocorre, por exemplo, no caso da responsabilidade do condutor ou proprietário perante pedestre (DEMARCHE, 2015), devido à preferência que o regulamento atribui ao último em face do primeiro na utilização das vias de trânsito.<sup>10</sup> Há, com efeito, uma série de hipóteses de acidente de trânsito em que a culpa presumida é a modalidade prevalecente de culpa, consequência da conjugação que estamos expondo entre normas regulamentares, princípios civilistas e justificativas práticas. Como coloca

---

<sup>10</sup> Para uma discussão focada nas divergências doutrinárias entre culpa presumida e responsabilidade objetiva, v. Bernardo (2009) e Oliveira e Sartori (2012).

Bernardo (2009), exemplos comuns são a culpa do motorista que colide com a traseira de outro veículo, por ter um ângulo de visão mais favorável (condutores não humanos também teriam?),<sup>11</sup> ou do motorista que vem de via secundária e adentra em via principal, que estaria em violação do “princípio da confiança” (seria aplicável tal princípio para carros autônomos?). Parte da doutrina, a exemplo de Rizzardo (2014), chega a considerar que a responsabilidade civil no trânsito é regida em regra pela culpa presumida do condutor, com inversão do ônus da prova, havendo uma pluralidade de situações em que justificativas específicas tais como as mencionadas acima foram sendo formuladas na jurisprudência, justificativas cuja transposição para carros sem motoristas não seria automática. Tais situações incluiriam acidentes em faixas, colisões traseiras sucessivas, estacionamento irregular, derrapagem, batidas, condução sob efeito de substâncias psicoativas, entre muitas outras.

Outras formulações gerais do direito civilista da culpa também se transportam para o trânsito. É assim que, por exemplo, as causas excludentes de responsabilidade incidem, havendo de se falar em uma série de situações que já foram sucessivamente interpretadas na doutrina e na jurisprudência. Visto que tais situações costumam excluir o nexo de causalidade, também são importantes para a responsabilidade objetiva. Na hipótese de haver força maior ou caso fortuito, a divisão entre caso fortuito interno e externo é relevante. Por exemplo, enquanto as situações esdrúxulas como a queda de uma árvore ou a bala perdida tendem a excluir a responsabilidade (caso fortuito externo), nem sempre ocorre a exclusão por fato do veículo (ex.: defeito mecânico imprevisível de carro recém-adquirido), por se encaixar na teoria do risco no caso fortuito interno (BERNARDO, 2009). É de se indagar se acidentes envolvendo inteligência artificial poderão ser tratados como caso fortuito interno. Outros casos de exclusão de responsabilidade que envolvem complicações semelhantes são o fato exclusivo da vítima, por vezes acarretando culpa concorrente, e o fato exclusivo de terceiro.

A doutrina também classifica os acidentes de trânsito de responsabilidade subjetiva de acordo com as considerações gerais civilistas sobre as modalidades de culpa. Em exemplos citados, pode-se mencionar as culpas: *in eligendo* do proprietário, a *in omittendo* do pai ou da mãe, a *in vigilando* do patrão e a *in comittendo* da negligência em ultrapassagens (RIZZARDO, 2014).

---

11 Aqui, o CTB baliza o parâmetro de culpa pela orientação da distância segura do art. 29, II, o que também vem a incidir em outros casos, tal como certas hipóteses de colisão múltipla.

Todas essas modalidades foram desenvolvidas pensando em atitudes de seres humanos, e não se sabe como serão trabalhadas quando os carros se tornarem gradativamente autônomos na condução.

Um último aspecto que vale chamar atenção sobre responsabilidade automobilística é a questão da prova. Como veremos na *Seção 4.5* e no *Capítulo 5*, é possivelmente um dos principais impactos da implementação de arquiteturas autônomas. A prova na responsabilidade civil pode determinar ou excluir qualquer um dos pressupostos da responsabilização, sendo mais comum que ateste a culpa ou o nexo de causalidade. Os princípios gerais da prova se transladam mais uma vez do Direito Civil, havendo grande aplicação da inversão do ônus da prova nos acidentes de trânsito em razão da prevalência da culpa presumida e da responsabilidade objetiva. A maior complicação poderá residir nos casos exigindo prova pericial, sobretudo quando a perícia é voltada à reconstituição da situação e de suas causas, pois perícia atual tem uma série de técnicas formais, por vezes matematizadas ou estatísticas, que dependem em boa parte de considerações subjetivas e objetivas sobre as condições de condutores humanos, suas limitações e potenciais (ARAGÃO, 2011).



## CAPÍTULO 3 •

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E CARROS AUTÔNOMOS

### 3.1 Os autômatos inteligentes

O comportamento inteligente de algoritmos, autômatos, agentes ou programas de computador sempre dominou o imaginário da sociedade e motivou, ao longo do tempo, pesquisadores a buscar aplicações nas quais esses componentes pudessem oferecer resultados mais promissores do que abordagens determinísticas.<sup>12</sup>

O termo *inteligência*, contudo, precisa ser melhor compreendido, a fim de que não se busque equivalência àquilo que se tem no ser humano. A inteligência artificial busca inspiração nas metáforas de mecanismos relacionados à inteligência humana, como raciocínio, aprendizado, previsão, planejamento, neurônios, sem, contudo, representar que busca a replicação do cérebro e da consciência humana.

Alan Turing buscou fornecer uma definição operacional satisfatória de *inteligência* por meio do *teste de Turing*, de forma que um interrogador apenas observando as respostas fornecidas por um humano ou um computador não conseguiria fazer distinção. Passando pelo *teste de Turing*, um computador seria de fato inteligente. Segundo Norvig e Russell (2013), para passar no teste, um computador precisaria ter as seguintes capacidades:

- *processamento de linguagem natural* para permitir que ele se comunique com sucesso em um idioma natural;
- *representação de conhecimento* para armazenar o que sabe ou ouve;
- *raciocínio automatizado* para usar as informações armazenadas com a finalidade de responder a perguntas e tirar novas conclusões;
- *aprendizado de máquina* para se adaptar a novas circunstâncias e para detectar e extrapolar padrões;

---

12 Norvig e Russell (2013) descrevem que: “Se o próximo estado do ambiente é completamente determinado pelo estado atual e pela ação executada pelo agente, dizemos que o ambiente é determinístico”. Em outras palavras, o resultado de um algoritmo é determinado pelo estado inicial e pelas ações por ele empreendidas, fazendo que possam ser repetidos e verificados.

- *visão computacional*<sup>13</sup> para perceber objetos; e
- *robótica* para manipular objetos e movimentar-se.

Tais disciplinas continuam atuais e compõem a maior parte da Inteligência Artificial (IA).

O desenvolvimento da IA contou com contribuições de outras áreas do conhecimento, como Filosofia, Matemática, Economia, Neurociência, Psicologia, Engenharia, Teoria do Controle e Cibernética, Linguística. Em alguma medida, essas áreas contribuíram com ideias, modelos, paradigmas e ferramentas para desenvolvimento da IA (NORVIG; RUSSELL, 2013).

A inteligência artificial é uma área de conhecimento cujo início data do fim da 2ª Guerra Mundial e despertou grande interesse em alguns dos pesquisadores mais talentosos da época, entre eles Alan Turing, Warren McCulloch, Walter Pitts, Donald Webb, John McCarthy e Marvin Minsky (NORVIG; RUSSELL, 2013).

Os trabalhos iniciais despertaram grande entusiasmo e expectativas em razão dos resultados, ainda que limitados, obtidos por seus pesquisadores. Eles permitiram transformar computadores restritos e especializados em máquinas de computação mais genéricas (NORVIG; RUSSELL, 2013).

O ideário sobre a existência de um cérebro robótico, sua capacidade de desenvolver consciência e seus potenciais conflitos éticos e ambições apocalípticas passou a povoar a mente de escritores e cineastas. Data dessa época a publicação de ficção científica de Isaac Asimov, *Eu, robô*, na qual ele formula três leis ou princípios hipotéticos de convivência entre robôs e seres humanos.<sup>14</sup> Diversos filmes também buscaram representar alguma preocupação ou aspecto da inteligência artificial: *2001 – Uma Odisseia no Espaço* (1968); *Blade Runner* (1982); *O Exterminador do Futuro* (1984); *Matrix* (1999); *AI – Inteligência Artificial* (2001); *Ela* (2013); *Ex\_Machina* (2015); entre outros.

---

13 Os aspectos físicos (visão computacional e robótica) foram observados no chamado *teste de Turing total*, que considera as habilidades de percepção do indivíduo.

14 1ª Lei: Um robô não pode ferir um ser humano ou, por inação, permitir que um ser humano sofra algum mal. 2ª Lei: Um robô deve obedecer às ordens que lhe sejam dadas por seres humanos exceto nos casos em que tais ordens entrem em conflito com a Primeira Lei. 3ª Lei: Um robô deve proteger sua própria existência desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira ou Segunda Leis. Mais tarde Asimov acrescentou a “Lei Zero”, acima de todas as outras: um robô não pode causar mal à humanidade ou, por omissão, permitir que a humanidade sofra algum mal.

Ao longo do tempo, desenvolveram-se paradigmas que variam conforme a área de aplicação e a disciplina de influência. As aplicações são as mais diversas: demonstração de teoremas e resolução simbólica de equações na Matemática; otimização e busca heurística na área de pesquisa operacional; jogos de xadrez, damas, Go, entre outros; tradução automática, verificações ortográficas na área de processamento de linguagem natural; modelagem de personalidade e escolha de estratégias pedagógicas na implementação de sistemas tutores e aprendizagem virtual; robótica; implementação de sistemas especialistas de auxílio a diagnóstico, previsão, monitoramento em áreas de medicina, finanças, engenharia, indústria e na própria computação. Atualmente, a IA é onipresente nos mecanismos de buscas, seleção de conteúdo e sugestão de ofertas.

Os paradigmas basilares diferenciam-se na forma como a modelagem do raciocínio ou conhecimento é feita, a saber: simbólico ou cognitivo, conexionista, evolucionista, estatístico/probabilístico (FERNANDES, 2003).

- Simbólico ou cognitivo – O paradigma simbólico ou cognitivo representa o raciocínio por meio da manipulação de símbolos que descrevem entidades, relações, eventos em um determinado domínio de aplicação. Sua inspiração encontra-se na lógica, semiologia, linguística e psicologia cognitiva. Seu arquétipo de uso constitui-se primeiro na identificação do conhecimento do domínio, depois sua representação, por meio de uma linguagem formal de representação, e, por fim, implementação de um mecanismo de inferência para utilizar esse conhecimento. Na IA simbólica, um programa de inteligência artificial é um “agente racional” que age em um ambiente conhecido segundo um princípio de racionalidade; dessa forma, há a necessidade de existência de conhecimento prévio sobre as propriedades relevantes do mundo que se quer modelar, compreensão de como este mundo evolui, identificação dos estados desejáveis e quais as consequências de suas ações no mundo. Considerando a possibilidade de aprendizado, são necessárias, ainda, uma forma de medir o sucesso de suas ações e uma forma de avaliar os seus próprios conhecimentos. O paradigma simbólico apresenta diversas limitações e é inadequado em diversos contextos, como quando eliciar o conhecimento é muito difícil; raciocínio de baixo nível para interpretações de sensores (perceptores), como reconhecimento de padrões de sinais, visão computacional, processamento da fala; raciocínio de baixo nível para disparar ações reflexas, como os controles de motores de um robô; quando o conhecimento a

ser modelado é incerto ou muito ruidoso; e quando o raciocínio envolve cálculos ou probabilidades.

- **Conexionista** – Este paradigma se inspira no funcionamento do cérebro humano, por meio de construções abstratas análogas a neurônios artificiais, conectados em rede, que são capazes de aprender e de generalizar. Sob uma ótica mais estrita, constitui-se em uma técnica de aproximação de funções por meio de regressões não lineares. É representado pelas redes neurais e atualmente é responsável por grande parte da popularização do uso de inteligência artificial nas mais diversas áreas de aplicação. Enquanto o paradigma simbólico permite todos os tipos de raciocínio, o paradigma conexcionista é caracterizado por um raciocínio indutivo durante o treinamento da rede neural e dedutivo ou abduutivo durante a utilização. Basicamente, uma rede neural aprende por meio de exemplos. O comportamento esperado de uma rede neural ou a programação de uma rede neural se dá por meio dos dados que lhe são apresentados para aprendizagem. Por meio de interações sucessivas em uma busca por otimização, chega-se à função que melhor aproxima a transformação de um conjunto de dados de entrada em dados de saída. Basicamente, sua utilização se mostra adequada justamente nos cenários em que a IA simbólica não apresenta seus melhores resultados. Contudo, aplicações críticas que requerem explicações detalhadas e claras das decisões dos agentes, como em uma central nuclear ou em uma cirurgia, ou na indicação de um investimento, mostram-se inadequadas para a aplicação das redes neurais. Este, como veremos mais à frente, talvez seja um dos maiores problemas ou desafios a ser enfrentado no que se refere à responsabilização no cenário de um acidente com carro autônomo.
- **Evolutivo** – O paradigma evolutivo compreende o raciocínio como a construção de soluções por meio de um processo iterativo de geração semialeatório de hipóteses seguida por uma seleção dos mais adaptados ao ambiente. De inspiração darwiniana, fixa-se na metáfora do desenvolvimento do cérebro humano. Assim como as redes neurais, no treinamento o raciocínio é indutivo, mas na utilização é dedutivo ou abduutivo. Os modelos de referência utilizados são as técnicas de algoritmos genéticos, programação genética e programação evolutiva. Apresenta-se adequado nos mesmos cenários em que as redes neurais são indicadas.

- Estatístico/probabilístico – O paradigma estatístico/probabilístico busca representar a incerteza em um modelo de conhecimento. Possui dois representantes clássicos: a lógica nebulosa e as redes bayesianas. Enquanto a primeira busca formas de representar as incertezas linguísticas por meio das teorias de conjuntos, a segunda representa o raciocínio por meio das leis da probabilidade e da estatística.

Observa-se, assim, que os autômatos ou agentes inteligentes são largamente utilizados nos provimentos dos mais diferentes tipos de soluções. Verifica-se, ainda, que a melhor abordagem para a escolha do método ou da ferramenta depende das características do problema a ser solucionado.

Em nosso estudo, os métodos e os paradigmas mais relevantes estão vinculados à IA Simbólica e à IA Conexionista. O primeiro, pela capacidade de representar o modelo do mundo de forma inteligível e poder oferecer explicações sobre o processo de tomada de decisões. O segundo, pelo fato de constituir a principal abordagem que permite a interpretação e o reconhecimento de padrões de imagens e sinais de sensores (sonoros, óticos) atualmente utilizados nas implementações automotivas em desenvolvimento pela indústria.

## 3.2 As Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNA), de forma geral, são utilizadas em quatro tipos de problemas: problemas de classificação (reconhecimento de caracteres e imagens, análise de riscos de crédito, detecção de fraude); problemas de categorização (mineração de dados, agrupamento de dados, análise de sequência de DNA); problemas de previsão (previsão do tempo, previsão financeira, modelagem de sistemas dinâmicos); e problemas de otimização (minimização e maximização de funções de custo)<sup>15</sup> (DIAS, 2016).

### 3.2.1 Aprendizado das redes neurais

O processo de aprendizado de redes neurais envolve o treinamento das redes, ou seja, a submissão de grandes massas de dados. O aprendizado de máquina é um algoritmo que, em face de novos dados que são apresenta-

---

15 A compreensão da estrutura de um neurônio e sua percepção como uma função matemática extrapolam a necessidade de entendimento para as conclusões desta obra. Contudo, faz-se necessário compreender as formas e o processo envolvidos em seu aprendizado.

dos, calibra automaticamente os pesos da rede a fim de apresentar melhores resultados. Surden (2014) descreve que

o significado de aprendizado no contexto de *machine learning*: é a habilidade de melhorar a performance por meio da detecção de novos e melhores padrões a partir de novos dados. [...] Um algoritmo de aprendizagem de máquina pode se tornar mais preciso na execução de uma tarefa (como classificar um e-mail como SPAM) ao longo do tempo, porque seu projeto permite que ele aperfeiçoe continuamente seu modelo interno por meio da análise de mais exemplos e inferência de padrões novos e úteis a partir desses dados adicionais.

Essa habilidade de aperfeiçoar sua performance ao longo do tempo pela análise contínua de novos dados detectando novos padrões úteis é o atributo-chave que caracteriza o aprendizado de máquina.<sup>16</sup> (SURDEN, 2014, p. 92).

O aprendizado de uma RNA ocorre pela mudança dos pesos sinápticos dos neurônios da rede, cujas alterações buscam melhorar o resultado ou o desempenho por ela apresentados. A ideia é buscar continuamente reforçar as conexões que otimizam os resultados, selecionando os padrões mais úteis para a tarefa que se quer executar, enquanto se enfraquecem as conexões que não estão associadas a bons resultados. As formas pelas quais essas alterações se realizam são determinadas pelos paradigmas utilizados e em razão das finalidades de utilização das redes. Para Norvig e Russell (2013), existem três tipos de aprendizagem:

- Aprendizado não supervisionado – Utiliza apenas valores de entrada e não pares entrada-saída. O aprendizado ocorre pela apresentação contínua de dados, cujas regularidades vão sendo identificadas. Tipicamente, é utilizado em problemas de agrupamento e também pode ser utilizado para reduzir o número de dimensões ou variáveis de

---

16 Tradução livre. No original: “*The prior example illustrates what is meant by ‘learning’ in the machine learning context: it is this ability to improve in performance by detecting new or better patterns from additional data. [...] A machine learning algorithm can become more accurate at a task (like classifying email as spam) over time because its design enables it to continually refine its internal model by analyzing more examples and inferring new, useful patterns from additional data.*

*This capability to improve in performance over time by continually analyzing data to detect additional useful patterns is the key attribute that characterizes machine learning algorithms.”*

interesse em uma massa de dados, a fim de concentrar-se apenas naqueles com relações identificadas, potencialmente úteis, ou para detectar tendências.

- Aprendizagem por reforço – O agente inteligente aprende a partir de uma série de reforços – recompensas ou punições. Por exemplo, a falta de uma gorjeta ao final de uma corrida de táxi informa ao agente que algo não deu certo, assim como a existência de uma pontuação extra ao final de um movimento do xadrez informa ao agente que fez a coisa certa.
- Aprendizado supervisionado – Consiste na apresentação de massas de pares de dados entrada-saída. Os dados de entrada são apresentados à rede e é calculada uma saída, que é comparada com a saída fornecida no dado de treinamento. Os erros são, então, calculados por um “professor”, que promove mudanças nos pesos sinápticos a fim de que o erro apresentado no treinamento seja minimizado. Os algoritmos mais utilizados são a regra delta e o *back-propagation* (DIAS, 2016).

A literatura sobre aprendizado em inteligência artificial é grande e complexa, na medida em que varia de acordo com o paradigma utilizado pelo agente inteligente, os algoritmos utilizados para sua implementação e as informações prévias sobre o domínio de aplicação ou dos dados a serem analisados. Contudo, mais especificamente no campo da aprendizagem de redes neurais artificiais, merece destaque a técnica de *aprendizagem on-line*, descrita por Peter Norvig (NORVIG; RUSSELL, 2013).

Para ele, considerando a hipótese de que os dados não sejam “independentes e identicamente distribuídos”,<sup>17</sup> ou seja, que possam mudar ao longo do tempo, há algoritmos que podem ser aplicados que permitem aprimorar o desempenho da rede baseado na comparação entre a previsão e resposta correta. Assim, diante de novos dados experimentados na prática por um motorista, é possível que, em face dos algoritmos de aprendizagem, este possa alterar os pesos da rede neural a fim de otimizar a distância entre a previsão oferecida e o dado real medido (resposta certa).

---

17 Esta hipótese aplicada ao mundo real das situações vivenciadas no trânsito se mostra razoável à medida que as tentativas de predições (futuro) se deem com base no aprendizado de dados do passado. Segundo Norvig e Russell (2013), “se o futuro não tem nenhuma semelhança com o passado, como podemos prever alguma coisa?”. Assim, para eles, nenhuma semelhança entre o passado e o futuro implicaria a incapacidade de previsão.

### 3.2.2 Tratamento dos erros no aprendizado de máquina

A escolha da arquitetura de uma RNA e de seu algoritmo de aprendizado considera diversos fatores. Segundo Peter Novig, a aprendizagem assume muitas formas, dependendo da natureza do agente, do componente a ser aperfeiçoado e da realimentação disponível (NORVIG; RUSSELL, 2013). De forma geral, a aprendizagem de máquina tende a oferecer melhores resultados quando os fatos a serem previstos são semelhantes a fatos passados, ou seja, a identificação de fatos nunca vistos antes, ou contraditórios ao passado, tende a não ser tão precisa.

Contudo, os algoritmos de aprendizado utilizados possuem um erro associado, e, a depender da arquitetura da rede e da quantidade de camadas nela utilizadas, essa propagação de erros deve ser tratada. Tipicamente, esse é um problema que afeta as redes com estrutura retroalimentada, na qual o erro na última camada, de saída, deve ser distribuído pelas camadas anteriores de forma equilibrada.

Assim, o processo de aprendizagem de máquina pode ser um grande dificultador para a compreensão da forma como uma rede de fato aprende determinado conteúdo, o que pode levar a uma decisão futura indevida.

Entretanto, é necessário entender o aprendizado de uma rede de forma mais ampla, ainda que seus ciclos e estruturas internas sejam barreiras ao processo de transparência. O aprendizado de uma nova competência em uma rede neural leva diversos ciclos de treinamento e um determinado tempo, até que o algoritmo de treinamento entenda que a nova configuração de pesos da rede está apresentando melhores resultados que a configuração anterior.

Em uma situação real, é importante que, antes de ser disponibilizada de fato, essa nova configuração passe pelos mesmos testes de validação e que os resultados atingidos atendam a critérios mínimos de risco. Esses cenários serão melhor explorados no *Capítulo 5*.

### 3.2.3 Limitações das redes neurais artificiais

Osório e Vieira (1999, p. 25) descrevem algumas dificuldades das redes neurais:

- Arquitetura e parâmetros: não existe um método totalmente automático para que se possa escolher a melhor arquitetura possível para um problema qualquer. É muito difícil de se encontrar uma boa topologia de uma rede, assim como bons parâmetros de regulação do algoritmo de aprendizado;

- [...]
- Caixa-preta: os conhecimentos adquiridos por uma rede estão codificados no conjunto de valores dos pesos sinápticos, assim como pela maneira pela qual estas unidades se conectam. É extremamente difícil para um ser humano conseguir interpretar diretamente estes conhecimentos. *As redes conexionistas são “caixas-pretas” onde os conhecimentos ficam codificados de tal forma que estes são ininteligíveis para o utilizador ou até mesmo para um especialista. Uma rede não possui a capacidade de explicitar o tipo de raciocínio que lhe levou a obter uma certa resposta, ao contrário dos sistemas baseados em regras, que por sua vez podem facilmente mostrar a seqüência de regras aplicadas na resolução de um problema;*
- Conhecimentos teóricos: as redes neurais clássicas não permitem que se utilizem os conhecimentos teóricos que possam estar disponíveis sobre um determinado problema que estejamos tratando. Como as árvores de decisão, as redes neurais são orientadas para a aquisição de conhecimentos empíricos (baseados em exemplos). Um modo simplista de se aproveitar algum conhecimento teórico pré-existente consiste em se converter regras em exemplos (“protótipos” representativos destas regras). Entretanto, este tipo de método não nos garante que a rede será capaz de aprender corretamente estes exemplos, sendo assim, não podemos garantir que ao final do aprendizado todos os conhecimentos teóricos disponíveis estarão bem representados internamente na rede. [Grifo nosso]

Observa-se, assim, que a estrutura utilizada para implementar uma RNA oferece grande dificuldade e até impossibilidade de dar transparência a seu processo de aprendizado, sendo necessário um mecanismo exterior à rede ou que gerencie o aprendizado que seja capaz de registrar o treinamento dado e certificar qual nova capacidade ou competência foi dada a essa rede.

Embora os paradigmas elencados na *Seção 3.1* sejam os principais, o uso prático não é mutuamente exclusivo, sendo inclusive o cenário mais comum de utilização na indústria automotiva e nas pesquisas atuais sobre carros autônomos. Arquiteturas híbridas que envolvam RNAs e alguma outra abordagem para melhor executar tarefas de planejamento e aprimoramento do processo de aprendizagem das próprias redes neurais são comuns.

### 3.3 Os agentes inteligentes e a autonomia na tomada de decisão

O comportamento inteligente dos agentes de software está no centro da questão sobre o enquadramento jurídico a ser dado a sua utilização. Como vimos, a depender da tecnologia utilizada pelo agente, pode ser que haja ou não uma representação ou um modelo do mundo ou do ambiente no qual o agente irá atuar. Esse aspecto é sensivelmente importante, pois uma suposta reflexão no planejamento de uma ação sobre possíveis consequências importa na existência prévia de um mundo modelado, ou modelável. Debates sobre a possibilidade de reflexões éticas no processo decisório tornam isso mandatário.<sup>18</sup>

Contudo, é possível conceber um mundo natural em que as decisões sejam tomadas não por um processo reflexivo a cada ação, mas pela construção de rotinas de condicionamento que, após um processo de treinamento,<sup>19</sup> são transformadas em competências e podem entrar em ação. Desse modo, quando nos condicionamos a agir de determinada forma em determinado contexto, não refletimos, ao caracterizarmos o contexto, simplesmente agimos.<sup>20</sup> Esse processo faz com que o tempo de reação seja muito menor, e isso pode salvar vidas. Diversas situações na direção de um veículo ocorrem dessa forma.

---

18 Uma determinada decisão pode levar a um dilema ético. A resolução de dilemas éticos e das tensões causadas por suas aplicações de ordem prática para a sociedade é uma área relevante da inteligência artificial, em especial as aplicações que podem levar à perda de vidas humanas. Assim, é importante que uma decisão autônoma se baseie em dilemas previamente resolvidos e autorizados por quem projetou o algoritmo ou o utilizou. Eventuais dilemas éticos não resolvidos não podem ser decididos autonomamente por um autômato, mas se pode recorrer a um supervisor, seja ele um motorista, seja ele um conhecimento disponível fora do componente autônomo, como uma central de supervisão ou uma camada distribuída de inteligência, que atualmente se pode convencionar chamar de *nuvem*. O Massachusetts Institute of Technology (MIT) disponibiliza projeto no qual questiona as pessoas que se dispõem a participar da pesquisa sobre dilemas éticos e a identificar novos dilemas. A captura massiva desses dados permite àquele laboratório formar alguma inteligência a fim de fornecer melhores estratégias de solução para os dilemas apresentados (DANIEL, 2018).

19 Trata-se da abordagem da psicologia cognitiva behaviorista.

20 O aprendizado baseado em condicionamento reporta-se sempre a experiências do passado, que pode ser modelada por meio da criação de casos para um aprendizado de uma RNA – Rede Neural Artificial. Contudo, tomadas de decisão em situações inéditas tendem a não ser adequadamente resolvidas por meio de comportamento condicionado, mas por meio de processo criativo ou generalização.

Assim, também podemos considerar o uso das redes neurais e seus mecanismos de aprendizagem, que, uma vez treinados a dar um determinado resultado, não precisam revisitar as regras que os levaram a cada decisão. Há a identificação de um padrão para o qual a rede neural foi treinada, e esta, então, dá a devida saída, uma ação de frenagem de um carro, por exemplo.

Contudo, observa-se que a preocupação em dar explicações (comunicação e linguagem) sobre o processo decisório não está na raiz da IA conexionista e constitui atualmente um grande limitador não em seu uso para a automação da direção veicular, mas nas expectativas sobre a necessidade de explicar (linguagem) determinada ação.

Outro elemento surge como complicador nesse processo: a aprendizagem. Se o comportamento de uma rede for determinado apenas por seu treinamento, é possível identificar as regras que a levaram àquela ação. Contudo, considerando que os algoritmos continuem a aprender com os dados que são lidos em tempo real no processo de utilização, e a rede neural continue seu processo de otimização e convergência, não será possível voltar àquele conjunto de regras inicial.

Sob a ótica jurídica, é relevante o conhecimento sobre a arquitetura implementada nesses agentes inteligentes, a fim de que seja possível determinar o nível de “consciência” que o algoritmo tem do mundo em que atua. É preciso saber se o nível de complexidade modelado é condizente com seu contexto de utilização. Naturalmente, imaginar um carro autônomo andando no trânsito com outros carros, pedestres, ciclistas, animais, etc., e o modelo de mundo implementado em seu algoritmo apenas considerar o reconhecimento de outros carros nos faz concluir que algo não sairá conforme planejado.<sup>21</sup>

Em face do nível de utilização de algoritmos inteligentes em nosso dia a dia, somos convidados a cogitar um cenário em que as decisões deles são tomadas por meio de um processo consciente e que, em razão disso, seria necessário pensar na questão da personalidade jurídica dos robôs. Contudo, nem nas aplicações com modelagem mais complexa e que considerem em seu modelo de mundo modelagem de variáveis vinculadas a uma personalidade que lhes venha a ser atribuída, ainda assim, estaremos falando em um algoritmo que tomou decisões e executou ações com base em um mundo que

---

21 Neste caso, o conhecimento da arquitetura nos faz buscar compreender em qual lugar dela se dá o processo decisório mais complexo ou o planejamento de uma ação, normalmente ocorridos em uma camada de controle.

foi modelado e projetado por um especialista, seja pela explicitação de regras, seja pela criação de massas de dados de treinamento para uma rede neural.

Contudo, no plano das ações e dos resultados, consciente ou não, o fato é que esses autômatos ditos inteligentes produzem resultados que podem ter significado no plano jurídico. Uma decisão de mudança de faixa que leve a uma colisão representa um fato que gera uma consequência, o dever de indenizar!

A identificação da causa da decisão que levou à batida pode ser algo relevante, na medida em que pode ser considerada uma falha ou não no projeto. Imaginemos que foi implementado nesse autômato de forma deliberada a mudança de faixa em caso de iminência de atropelamento de um humano e, considerando a distância para o obstáculo e a avaliação de que não haverá espaço hábil para a frenagem completa, que se dê a mudança de faixa, independentemente de haver lá outro veículo.

Fato é que, atualmente, os agentes inteligentes são utilizados nos mais diversos domínios, e sua utilização pode apresentar resultados adversos que representam frustração aos seus usuários. Imagine uma cirurgia médica ou a sugestão de um investimento: uma falha provocará em seu usuário o natural desejo de entender o motivo e, não entendendo razoável o motivo, buscar eventual reparação por seu fabricante.

A determinação das funcionalidades e da performance a partir de um algoritmo determinístico se dá a partir do conjunto de regras de negócio que são previamente programadas por seu desenvolvedor. As competências desse algoritmo somente são ampliadas se novas regras de negócio são implementadas por desenvolvedores. Por sua vez, nas implementações de inteligência artificial, que se dedica a resolver problemas considerados não triviais nem determinísticos, o desempenho dessa rede não se dá a partir da programação inicial, mas das massas de dados nos quais a rede neural é treinada. Pode-se dizer, então, que o modelo de aprendizado ou de desenvolvimento não é orientado a regras de negócio ou serviços, mas aos dados.

### 3.4 A indústria do carro inteligente

Os carros inteligentes são uma das aplicações de inteligência artificial mais esperadas pela sociedade e mais pesquisadas por cientistas e pela indústria. Ter um sistema de transporte inteligente e autônomo que reduza os riscos de acidentes e permita melhor controle da eficiência é um objetivo que tem motivado evoluções tecnológicas ao longo de décadas em outros modais de transportes, como os trens e os aviões (WINKLE, 2016).

Em que pesem as mesmas motivações dos outros modais de transporte, os cenários que envolvem a direção de veículos automotivos são sensivelmente mais complexos, em razão do número de variáveis a serem consideradas. As condições das vias, os pedestres, a quantidade de outros veículos e motoristas, os ciclistas, os animais e o tráfego fazem do desafio de conduzir autonomamente um carro em segurança para si e para o ambiente algo muito complexo de ser modelado (FRIDMAN *et al.*, 2017).

O desenvolvimento das tecnologias empregadas na condução autônoma de veículos, contudo, tem a mesma origem e se aproveita bastante das tecnologias desenvolvidas com fins militares. Sistemas de navegação, protocolos de comunicação, mecanismos de controle, detecção de obstáculos, cálculos de distância, todos têm origem em investimentos militares ou em pesquisa aeroespacial.

Esse mesmo desenvolvimento tecnológico tem sido incorporado aos poucos ao uso de veículos do dia a dia por meio da disponibilização de sistemas de auxílio à direção que têm o objetivo de tornar o ato de dirigir mais seguro. Já é realidade de boa parte da população sistemas com os freios ABS, que evitam que as rodas travem em uma frenagem mais brusca, ou que evitam que o carro derrape na pista em uma curva mais acentuada. Assim, em alguma medida, hoje, já somos usuários de alguma tecnologia que busca dar mais autonomia aos carros.

### **3.4.1 Definindo veículo autônomo, autonomia, automação e delegação**

No plano jurídico, faz-se necessário ter a definição do que é um veículo autônomo e no que consiste a direção autônoma, a fim de que se possa discutir a responsabilidade civil.

Para Michèle Guilbot, “veículos dotados de novas tecnologias que permitem um sistema tecnológico realizar as tarefas de condução são apresentados em diversas qualificações: *autônomos, automatizados e auto-conduzidos*” [grifo do original].<sup>22</sup>

A autonomia pressupõe capacidade de decisão e independência de ação por parte do sistema, baseadas na programação e em um processo inicial de

---

22 Tradução livre. No original: “*Les véhicules dotés de nouvelles technologies permettant à un système technique de réaliser des tâches de conduite sont présentés sous diverses qualifications: autonomes, automatisés, auto-conduite.*” (GUILBOT, 2018, p. 52).

aprendizagem. A inteligência artificial deve ser capaz de gerenciar sua própria interação com o ambiente, sem responder automaticamente a uma situação pré-programada. O Parlamento Europeu considera que a autonomia está associada à capacidade de tomar decisões e colocá-las em prática no mundo exterior. Quanto mais autônomo é um robô, menos pode ser considerado como ferramenta simples controlada por outros atores (GUILBOT, 2018, p. 52).

Por sua vez, a automação permanece associada aos processos iniciais sem o benefício do autoaprendizado pelo sistema. Pode ser utilizada em todas as tarefas de direção ou apenas na forma de recursos, que podem ser ativados automaticamente ou pelo condutor, em determinadas circunstâncias ou segmentos rodoviários (GUILBOT, 2018, p. 52).

A lei francesa<sup>23</sup> menciona ainda o conceito de delegação parcial ou total do ato de conduzir. Juridicamente, fornece um conceito mais preciso e operacional, uma vez que se presta a indicar o que é delegado, para quem ou o que, quando e sob que circunstâncias o ato de condução foi repassado (GUILBOT, 2018, p. 55).

Tendo como base essa noção de responsabilidade sobre o ato de conduzir e a divisão de poderes de gestão e controle sobre as tarefas de direção entre o ser humano e a máquina, torna-se possível e de fácil comunicação a criação de nível de automatização.

### **3.4.2 Os níveis de automação**

A Society of Automotive Engineers (SAE International), organização responsável por implementar estudos em engenharia automobilística que reúne os principais fabricantes de automóveis e peças do mundo, publicou uma taxonomia que classifica o nível de automatização da direção automotiva (SAE INTERNATIONAL, 2016). São definidos seis níveis de automação que variam da completa ausência de automação até o completamente automatizado, que dispensa totalmente a existência de um condutor humano:

- Nível 0 – Sem Automação: todas as tarefas relacionadas à direção são desempenhadas por um motorista humano;
- Nível 1 – Direção Assistida: algumas tarefas da direção podem ser assistidas, como uma aceleração ou frenagem, mas há a expectativa

---

23 Art. 37, IX, da Lei 2015-992, de 17 de agosto de 2015, relativa à transição energética e ao crescimento verde.

de que o motorista humano monitore e tenha controle do ambiente e execute as demais tarefas;

- Nível 2 – Automação Parcial: a direção é executada por um ou mais sistemas de assistência, com capacidade de aceleração, frenagem e mudança de direção, além do uso de informações de monitoramento do ambiente; contudo, há a expectativa de que o motorista humano execute o monitoramento do ambiente e as demais tarefas relacionadas à direção;
- Nível 3 – Automação Condicional: a partir desse nível, o sistema passa a monitorar totalmente o ambiente e é capaz de executar todas as tarefas vinculadas a tarefa de dirigir um veículo; há, contudo, a expectativa de que o motorista humano responda às solicitações de intervenção requeridas pelo sistema;
- Nível 4 – Alto Nível de Automação: o sistema tem a capacidade de executar todas as ações relacionadas à direção do veículo e de monitoramento do ambiente, mesmo que um motorista humano não responda adequadamente às solicitações de intervenção;
- Nível 5 – Automação Completa: o sistema é capaz de executar todas as tarefas de direção em todas as condições de tráfego, via e ambiente que um motorista humano poderia gerenciar.

Na referida classificação, há, ainda, a padronização das seguintes definições:

- tarefa de direção dinâmica: inclui os aspectos operacionais (guiar, frear, acelerar, monitorar o veículo e a via) e táticos (responder aos eventos, determinar quando mudar de faixa, fazer conversões, utilizar a sinalização de manobras, etc.); não consideram, todavia, os aspectos estratégicos (determinar destinos e pontos de parada);
- modo de direção: são os cenários que determinam requisitos característicos para a tarefa de direção (cruzamento e junção de vias expressas, condução em velocidades elevadas, tráfego congestionado, locais fechados e restritos, etc.);
- requisição de intervenção: notificação do sistema de condução automático para o motorista humano que deve ser prontamente executada.

Verifica-se, portanto, que cada nível de automação impõe requisitos distintos para os sistemas automatizados e podem levar a tratamentos jurídicos

distintos, sendo necessário que se apure em qual nível de automatização determinado veículo autônomo se encontra.

Outro ponto relevante é a classificação das tarefas de direção em três níveis: operacional, tático e estratégico, pois, como visto no *Capítulo 1*, os métodos a serem aplicados em cada caso têm boas e más indicações.

Em Arockia Panimalar *et al.* (2018), são apresentadas as principais tarefas associadas ao processo de aprendizagem de máquina: identificação de padrões, no caso de aprendizado não supervisionado, e classificação e regressão numérica, no caso de aprendizagem supervisionada. Considerando as tarefas operacionais de reconhecimento de padrões em sinais de sensores e de imagens, o aprendizado de máquina é uma das principais tecnologias aplicadas na implementação da inteligência automotiva, em especial a operacional. Contudo, é preciso avaliar o uso dessas tecnologias nas tarefas de nível tático e estratégico.

A tarefa de dirigir pode ser vista como uma composição integrada de uma série de tarefas mais especializadas, como avaliar o nível de aderência ao solo, ou se os freios não estão travando, ou se a distância do veículo da frente está adequada, ou identificar os objetos dinâmicos ao redor do carro, ou prever os movimentos de cada objeto que se encontra no ambiente externo do carro. Contudo, essa verificação pode se dar em cenários distintos, de forma que a avaliação de cada tarefa específica apenas não é suficiente, ou seja, a atuação individual de cada componente especializado não é suficiente para promover uma tarefa mais complexa.

Há a necessidade de que componentes mais complexos decidam como agir com base no que é interpretado por cada subsistema especializado, como fazer uma ultrapassagem, passar por um cruzamento, estacionar o veículo.

Observa-se, dessa forma, que a condução autônoma de um veículo é tarefa muito complexa, e as pesquisas e os desenvolvimentos tecnológicos em curso tentam dar às máquinas um nível de proficiência ou performance equivalente ao humano.

A National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), agência nacional de segurança rodoviária do governo norte-americano, define três conceitos importantes que ajudam a modelar e projetar soluções para as tarefas complexas vinculadas ao ato de guiar um veículo (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2016):

- *Operational Design Domain (ODD)* – são cenários operacionais específicos nos quais uma função automatizada ou sistema é projetado para funcionar adequadamente, incluindo, mas não limitado a tipos de estradas, faixas de velocidade, condições ambientais (meteorológicas, dia, noite, etc.), ou outras restrições (são exemplos de ODD autoestacionamento, direção em autoestrada, direção urbana em uma área geograficamente delimitada);
- *Object and Event Detection and Response (OEDR)* – representa a percepção do motorista ou do sistema de qualquer circunstância que seja relevante para a realização imediata de uma tarefa de direção, assim como a resposta apropriada do motorista ou sistema àquela circunstância;
- *fall back minimum risk condition* – capacidade de passar para uma condição de risco mínimo quando um problema for encontrado, tal como falhas do sistema, operação em condições degradantes ou fora das condições para as quais foi projetado, ou quando os alertas para o motorista humano retomar o controle do veículo não foram atendidos.

### 3.5 Principais desafios da direção autônoma

A disponibilização de veículos autônomos tem sido experimentada em diversos níveis pela indústria em vários lugares do mundo. Contudo, diversas configurações e cenários têm sido explorados pelas empresas. Algumas, como a Waymo, buscam desenvolver um veículo completamente autônomo (WAYMO, 2018), outros buscam o desenvolvimento de tecnologias assistivas (AMARAL, 2012). Sejam quais forem as estratégias de negócio, aos poucos veremos cada vez mais o desenvolvimento de componentes inteligentes assumindo tarefas inicialmente mais específicas e simples, migrando para mais complexas, até chegarem ao cenário da completa autonomia – SAE nível 5.

Os desafios tecnológicos da evolução dos algoritmos, entretanto, devem se deparar com cenários cada vez mais complexos e próximos do realmente enfrentado por humanos, como a percepção do ambiente, o reconhecimento de pedestres e a previsão de suas intenções, a condução do veículo em condições meteorológicas adversas, como chuva, neve, noite, crepúsculo, reflexos solares, sombras, entre outros.

É necessário haver a interpretação combinada dos dados e padrões reconhecidos por diversos agrupamentos de sensores, sobrepondo as informações para complementação do diagnóstico do ambiente e “decisão” do que fazer, em razão da tarefa que se executa naquele momento.

Outro aspecto tecnológico a ser considerado é compreender o processo de aprendizado utilizado nos diversos componentes que empregam inteligência artificial. Para essa compreensão, é fundamental a classificação dos diversos tipos de problemas, uma vez que cada contexto pode ensinar a aplicação de um tipo de tecnologia ou algoritmos de aprendizagem.

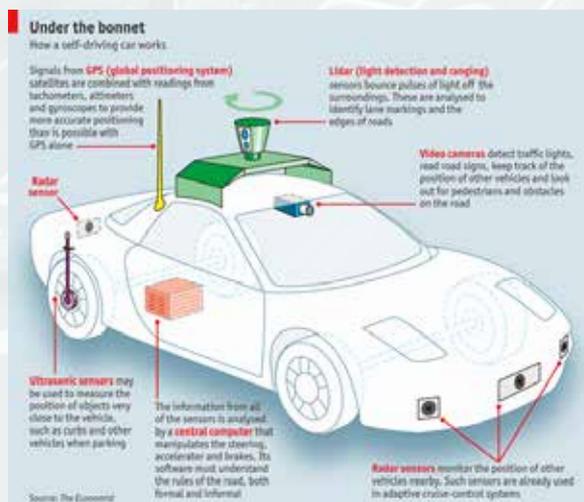
A próxima seção tratará de forma mais detalhada as arquiteturas e os paradigmas envolvidos no atual estágio do desenvolvimento de soluções que envolvam inteligência artificial e no aprendizado de máquina, a fim de que possamos entender como os mecanismos de aprendizagem envolvidos podem ensinar diferentes tratamentos pelo ordenamento jurídico.

### 3.6 Arquiteturas utilizadas em projetos de carros autônomos

A implementação de carros autônomos, por envolver processamento e classificação de grande quantidade de dados provenientes de sensores, utiliza algoritmos de aprendizagem de máquina para o processamento de sinais. Por sua vez, a tarefa de dirigir é tida como mais complexa e envolve fusão de dados de sensores utilizados em tarefas mais específicas, como a detecção de obstáculos ou a interpretação de mapas topográficos (FERNANDES *et al.*, 2014).

A automatização da condução de um veículo implica, ainda, a adequada “compreensão” do ambiente que cerca este veículo, e para isto é fundamental que haja o uso de sensores de diversos tipos e sua correta e integrada utilização.

Figura 1 • Sob o capô



Fonte: T. S. (2015).

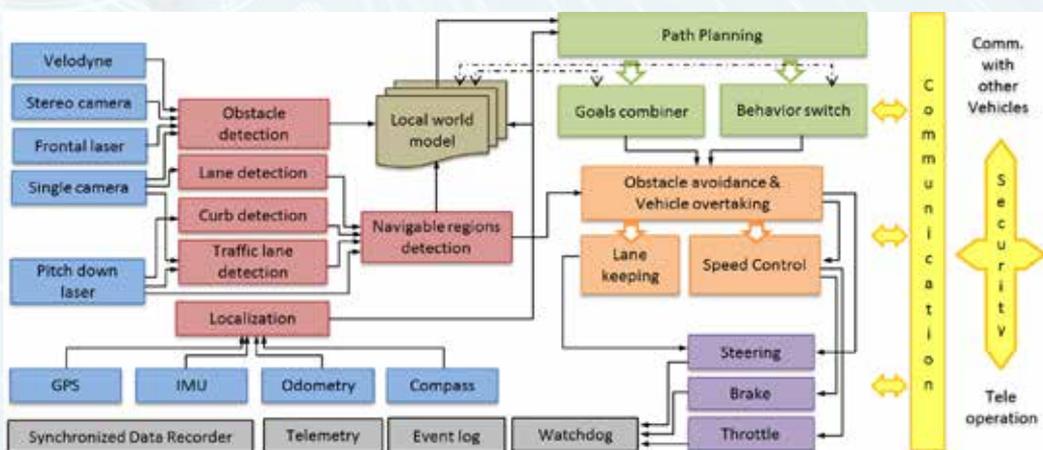
A Figura 1 (T. S., 2015) apresenta os típicos sensores que fazem parte de um veículo autônomo:

- câmeras de vídeo – permitem a detecção de obstáculos em tempo real;
- radar – ondas de rádio para detecção de curta e longa profundidade;
- *Light Detection and Ranging* (LiDAR) – utilização de laser para criação de um mapa 3D do ambiente a partir da reflexão dos pulsos emitidos;
- *Global Positioning System* (GPS) – sistema de geoposicionamento feito a partir da triangulação de dados recebidos de satélites;
- sensores ultrassônicos – utilizam ondas de alta frequência para mensuração de distância de objetos mais próximos;
- computador central – central de controle que recebe todos os sinais dos sensores e direciona para a ação esperada.

Assim, as arquiteturas de software utilizadas pelos veículos autônomos envolvem, em seu nível mais básico, os sensores ora descritos. Contudo, como já abordado, as tarefas de direção são complexas e exigem a presença de sistemas de controle que combinem as informações dos diversos sensores a fim de atender as necessidades do ODD.

Fernandes *et al.* (2014) apresentam a arquitetura do carro inteligente desenvolvido pelo Laboratório de Robótica Móvel da USP São Carlos, chamado de Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma (CaRINA).

Figura 2 • Módulos da arquitetura do sistema do CaRINA



Fonte: Fernandes *et al.* (2014).

O CaRINA utiliza o *framework Robot Operating System (ROS)*, que provê infraestrutura e facilidades para a implementação de uma arquitetura distribuída e orientada a serviços, constituído em uma arquitetura de controle híbrida projetada de forma modular.

A *Figura 2* apresenta subsistemas organizados por cor: sensores em azul; fusão de sensores; julgamento de alto nível em verde; comportamental em laranja; atuadores em roxo; e sistemas de retaguarda em cinza.

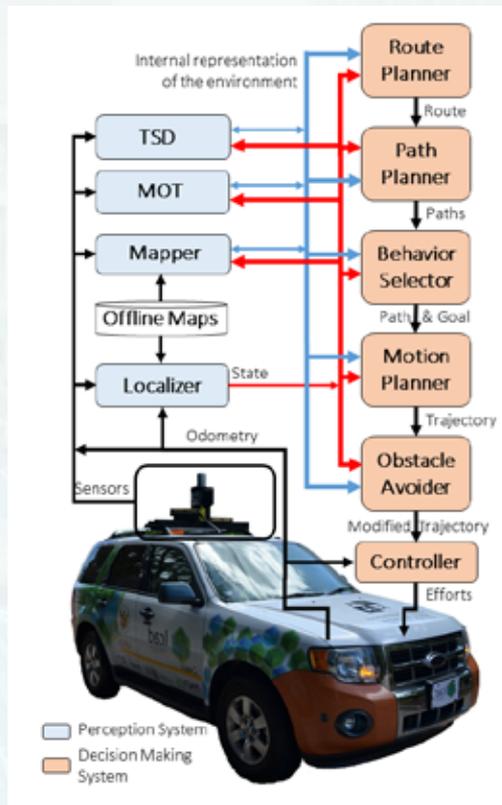
Observa-se, assim, que uma arquitetura real de implementação de um carro autônomo não é formada apenas por algoritmos de inteligência artificial ou de redes neurais; trata-se de um modelo complexo que envolve diversos módulos para resolver problemas especializados e localizados em camadas de abstração distintas. Por exemplo, o tratamento dos dados dos sensores ocorre em um nível mais básico de abstração do que os módulos de planejamento de percurso ou mudança comportamental.

Verifica-se, ainda, a existência dos módulos de retaguarda responsáveis pela guarda ou pelo registro de informações, como *synchronized data recorder, telemetria, event log*. Eles permitem manter aspectos críticos de segurança, registro de decisões e operações feitos pelo sistema, monitoramento remoto e armazenamento de dados brutos, permitindo análises mais completas, pós-processando e até mesmo criando dados para simulação.

Seidl (2017) apresenta a arquitetura de um veículo autônomo organizado em três camadas: sentido, planejamento e atuadores. Na camada de sentido, estão sensores e fusão de sensores, detecção e acompanhamento de objetos, detecção de comportamento, falha em detecção, câmeras, LiDAR (laser), radar, ultrassom, comunicação com outros veículos e infraestrutura, dependência de comunicação 5G, GPS, IMU (unidade inercial), mapa e localização. Na camada de planejamento, estão controle de trajetória, planejamento de manobras, horizonte virtual, tratadores de sinalização de tráfego (luzes, placas, etc.), distâncias seguras, dinâmica de direção confortável, entre outros. Na camada de atuação, estariam direção, freios, acelerador, travadores de cinto de segurança, entre outros.

Badue *et al.* (2019) apresentam a arquitetura do carro autônomo desenvolvido pela equipe do Laboratório de Computação de Alto Desempenho da UFES, chamado *Intelligent Autonomous Robotic Automobile (IARA)*.

Figura 3 • Arquitetura de software da IARA



Fonte: Badue *et al.* (2019).

A Figura 3 mostra uma arquitetura modularizada na qual a parte dos módulos em azul é voltada à percepção, e a outra parte é voltada à tomada de decisão. Observa-se, assim, que o tratamento dos sinais dos sensores é feito nos módulos de percepção, responsáveis principalmente pela percepção de localização, dos obstáculos fixos e móveis do ambiente. A parte de tomada de decisão, por sua vez, é responsável pelo planejamento da rota, pela seleção comportamental, pelo planejamento de movimento, pelo desvio de obstáculos e pelo controlador, que, dados os outputs dos demais módulos, os envia aos atuadores nos freios, no acelerador e no controle de direção.

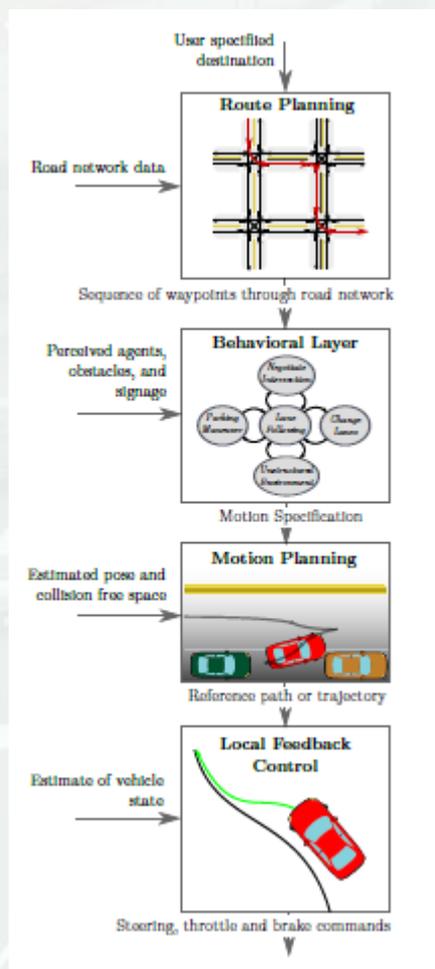
Embora a Figura 3 não mostre, a IARA dispõe de gravador de logs dos sensores, que também são utilizados para capturar dados para simulação e treinamento dos componentes da IARA.

Paden *et al.* (2016) apresentam um levantamento do estado da arte dos algoritmos utilizados para planejamento e controle do movimento de um veículo autônomo. Descrevem, ainda, os elementos de uma arquitetura típica de

um carro autônomo inteligente, que em sua essência é formada por sistemas autônomos de tomada de decisão que processam um fluxo de dados observados em seus sensores (radar, LiDAR, câmeras, GPS/INS e odômetros). As observações desses dados, associadas a algum conhecimento prévio sobre vias, regras de trânsito, dinâmica do veículo e modelagem de sensores, são utilizadas para automaticamente selecionarem um conjunto de variáveis que controlam o movimento do veículo.

A abordagem mais comum é separar e organizar as tarefas de percepção e tomada de decisão em uma estrutura hierárquica. Um sistema de tomada de decisão típico é formado por quatro componentes, conforme mostrado na *Figura 4*.

**Figura 4** • Hierarquia de um processo de tomada de decisão



Fonte: Paden *et al.* (2016).

O todo da hierarquia do processo de tomada de decisão, identificado por Paden *et al.* (2016), é formado pelos componentes: planejamento da rota, camada comportamental, planejamento do movimento e controle do veículo.

A observação das arquiteturas implementadas tanto no CaRINA quanto na IARA mostra que os componentes identificados no levantamento de Paden *et al.* estão lá presentes, embora os artigos estudados permitam conhecer com um pouco mais de detalhes a arquitetura do CaRINA.

Pode-se, assim, observar que a arquitetura típica de um veículo autônomo envolve a aplicação de diversas técnicas de implementação de algoritmos, alguns determinísticos, outros estocásticos ou probabilísticos e outros baseados no uso de RNA, como *machine learning* e *deep learning*.

### 3.7 Limitações e restrições de operação dos sensores

Os equipamentos que compõem a camada de percepção de um veículo autônomo possuem restrições e limitações de funcionamento por serem dispositivos eletrônicos e em razão das tecnologias que utilizam. Fácil perceber essa limitação quando falamos do uso de câmeras de filmagem domésticas.

O diagnóstico de um determinado contexto, como a presença de um obstáculo ou do rastreamento de um objeto móvel, pode advir de diversos sensores, por meio de técnicas de “fusão” de sensores.

Há, todavia, restrições de funcionamento que fazem com que determinados tipos de sensores não operem adequadamente ou cuja contribuição para as decisões das tarefas de direção possam ser significativamente reduzidas.

Uma das mais importantes está vinculada à operação do LiDAR. Trata-se de equipamento da mais alta importância, por permitir a percepção do ambiente em qualquer cenário de luz. Contudo, possui algumas limitações relevantes a serem consideradas. Como exemplo, consideremos o modelo LiDAR Velodyne HDL-32E,<sup>24</sup> utilizado nos projetos de pesquisa CaRINA e IARA.

Trata-se de um equipamento que emite 32 feixes de lasers em um campo de visão de 40° vertical, permitindo até aproximadamente 1.39 milhão de pontos por segundo. Isso permite uma riqueza de dados muito grande,

---

24 Especificações disponíveis em: <https://velodynelidar.com/hdl-32e.html>. Acesso em: 1º out. 2018.

porém com limitações que podem ser significativas quando falamos de um veículo em tráfego urbano ou em velocidades médias e altas: restrição do campo visual e alcance dos feixes.

Os 40° de campo visual fazem com que áreas próximas ao veículo não sejam alcançadas pelos feixes de laser, ou seja, criam áreas cegas.

O alcance do equipamento citado, segundo seu fabricante, é de 80 m a 100 m, ou seja, as percepções mais acuradas fornecidas só ocorrem nessa área de atuação. Essa limitação será abordada novamente no *Capítulo 5, Seção 5.9*.

## CAPÍTULO 4 •

# CARROS AUTÔNOMOS E RESPONSABILIDADE CIVIL

Depois de recapitular os fundamentos da responsabilidade civil contemporânea no trânsito brasileiro (*Capítulo 2*) e de expor o funcionamento da tecnologia de carros sem motoristas (*Capítulo 3*), no presente capítulo, começamos a unir os dois temas. O propósito aqui é mapear alguns dos principais desafios que a introdução de tais veículos ao sistema de trânsito pode trazer para a responsabilidade civil, considerando principalmente o sistema de responsabilidade automobilística brasileiro. Uma vez localizadas essas questões, traremos em seguida no *Capítulo 5* algumas propostas de solução regulatória.

Não temos conhecimento de outro texto brasileiro já publicado que tente oferecer um panorama de tais desafios. Assim, nosso estudo deve ser considerado como exatamente isto: um esforço exploratório, inicial e panorâmico. Conforme ficará claro no decorrer do capítulo, é bastante necessário que estudos mais concretos, empíricos e não exclusivamente doutrinários sejam conduzidos para enriquecer esse mapeamento, que ainda é preliminar. Já existem empresas se aventurando no setor que poderiam ser entrevistadas e analisadas, assim como há eventos de acidentes com carros autônomos – no Brasil e, principalmente, no exterior – que poderiam ser tomados como estudos de caso, tais como aqueles envolvendo as empresas Uber, Waymo e GM, e a apresentadora Ana Maria Braga. Nosso levantamento partiu da revisão de uma seleção da doutrina, da literatura técnica, de notícias e das entrevistas que realizamos com a equipe do projeto CaRINA, da USP São Carlos.

### 4.1 Considerações iniciais

A literatura que tem discutido implicações de carros sem motoristas para a responsabilidade provém majoritariamente do exterior, havendo ainda poucos estudos nacionais publicados sobre o assunto. Isso nos exige cautela, pois é necessário entender o contexto jurídico estrangeiro para o qual cada publicação se endereça, distinguindo-o das particularidades brasileiras. Entretanto, ao mesmo tempo traz a vantagem de adiantar temas que podem ser pensados de maneira mais geral, por desafiarem elementos comuns ao campo de responsabilidade civil.

As doutrinas de responsabilidade em acidentes envolvendo robôs invariavelmente adotam posturas em um debate mais amplo. Ao comentar os novos discursos que têm surgido sobre o tópico, Pagallo (2013) cria uma classificação inicial das opiniões possíveis. Segundo ele, haveria na literatura um espectro de três posições diferentes sobre o impacto das tecnologias dos robôs autônomos para a responsabilidade civil.

A primeira postura, que ele chama de “nenhuma nova responsabilidade”, seria negacionista, no sentido de entender que o advento da robótica não acarretará a necessidade de criação nem modificação de normas ou conceitos jurídicos de responsabilidade civil. Para os doutrinadores dessa corrente, é possível endereçar os desafios trazidos por sistemas autônomos apenas operando uma ampliação do conjunto de casos em que as modalidades de responsabilidade civil atualmente já desenvolvidas serão aplicáveis, sendo plausível imaginar que acidentes envolvendo sistemas autônomos acionarão doutrinas existentes, tais como a do fato da coisa ou a da culpa *in vigilando*.

Por sua vez, a segunda postura, que ele chama de “nova responsabilidade fraca”, reconheceria a necessidade de criação de novas regras e hipóteses de responsabilidade para endereçar o cenário de sistemas autônomos, tais como a tipificação de novos crimes, a positivação de novas normas regulamentares de cuidado ou a atribuição legal de responsabilidade objetiva para hipóteses ainda não contempladas. Extrapolando o contexto automobilístico, poderíamos encontrar um sistema autônomo que teria capacidade de agir por procuração ou delegação, podendo contrair direitos e obrigações em nome de pessoas jurídicas ou naturais.

Por fim, na ponta do espectro, a terceira postura seria a tese da “nova responsabilidade forte”, que entende pela necessidade de criação de inovações mais drásticas na ordem jurídica. As discussões dessa corrente centram-se nas novas concepções que poderiam ser necessárias para construir a responsabilidade individual de um ente que é autônomo, porém não humano, pensando aspectos como a culpa, as causas excludentes, a conduta média e a responsabilidade objetiva. Entre essas inovações, a mais discutida é a criação de uma personalidade jurídica própria para robôs, o que já está sendo debatido por alguns autores na esfera cível (ČERKA; GRIGIENĖ; SIRBIKYTĖ, 2017). Para o próprio Pagallo (2013), essa nova forma de personalidade poderia ser baseada, por exemplo, na figura do *peculium*, formalização dada aos escravos romanos como agentes responsabilizáveis no âmbito da condução dos negócios de seus donos. Dessa forma, a instituição da personalidade do

robô estaria voltada a instalar um sistema de incentivos às decisões autônomas da máquina, dotando-a de patrimônio próprio ou outro tipo de estoque e penalizando-a nesse estoque quando ela causasse dano injustificado a outras pessoas. Poderia haver, igualmente, dano contra os próprios robôs, podendo estes receber indenizações em casos de responsabilização do autor, seja este máquina ou humano. Outras doutrinas defendem que seja conferido às máquinas um status semelhante aos animais no Direito Civil (RENDA, 2018).

Evidentemente, as discussões em qualquer uma dessas três posturas não pode fugir de um dimensionamento do potencial da tecnologia. Nesse sentido, é possível encontrar publicações nos campos de filosofia e ética que tentam dar conta de reflexões profundas sobre tecnologias de potencial mais ambicioso, isto é, das implicações morais da criação de robôs dotados de autonomia e autoconhecimento, mesmo que em um sentido mais técnico desses termos (VERUGGIO, 2006). Acreditamos, entretanto, que ainda é cedo para pensar em formulações jurídicas que visem a endereçar tais estágios demasiadamente avançados da tecnologia, uma vez que o efetivo alcance de patamares tão elevados continua sendo especulativo, havendo até mesmo pesquisadores que não acreditam que sistemas digitais algum dia venham a ter esse tipo de capacidade (ex.: CICUREL; NICOLELIS, 2015).

Na realidade, sentimos que existe um risco de que profissionais sem familiaridade inicial com as áreas técnicas estejam vulneráveis a discursos que são a princípio impressionantes, discursos que atribuem à inteligência artificial características inspiradas em histórias de ficção científica, mas que na prática obscurecem a natureza ainda rudimentar da tecnologia em termos de cognição humana e de dilemas éticos relacionados a qualquer tipo de consciência ou de agentes autônomos artificiais. Como procuramos demonstrar no capítulo anterior, os chamados “robôs” que pilotam carros e realizam outras tarefas com base em algoritmos de inteligência artificial constituem tão somente sistemas cujo “comportamento” é bastante dependente das decisões de *design* e implementação tomadas previamente por seres humanos. As técnicas de “inteligência” artificial têm, de fato, função bastante limitada à otimização de tarefas muito específicas de detecção de padrões e não chegam nem perto, hoje em dia e nos próximos anos, de uma verdadeira inteligência tal como a conhecemos em seres humanos e algumas outras espécies animais. Assim, certas questões que já estão sendo colocadas na literatura de Ética e Filosofia Moral são ainda prematuras para o Direito, tais como a ponderação sobre escolhas morais supostamente feitas pelos robôs ou a aplicação das leis de Asimov.

Essa desmistificação inicial de alguns discursos é importante para o debate. É fato que as propostas de criação de personalidade jurídica própria para robôs já existem e são veiculadas em artigos científicos e propostas de normatização,<sup>25</sup> sendo a ideia de personalidade muito atrelada aos discursos de agência, consciência e autonomia. Não obstante, estando tais elementos ausentes e ainda muito distantes da tecnologia, é importante reconhecer que a criação de novas formas jurídicas pode ter impacto significativo na regulação da responsabilidade. Tendo em vista que a personalidade jurídica é um instituto que carrega uma função substancial de realocação de riscos, recursos, direitos e obrigações, a criação da personalidade jurídica para robôs pode representar uma disrupção severa de um ponto de vista de distribuição das responsabilidades no ordenamento, sendo de se indagar quais agentes da sociedade e do sistema econômico acabarão ganhando ou perdendo com isso e qual é a real necessidade de construir uma inovação jurídico-doutrinária como essa. Conforme procuraremos demonstrar, especialmente no *Capítulo 5*, embora os desafios postos pelos carros autônomos sejam grandes e mereçam ser endereçados por meio de reformulações relevantes no sistema de responsabilidade no trânsito, tais desafios ainda não parecem ter uma natureza ética tão profunda quanto a concepção de novas subjetividades.

Além da proposta de criação de personalidade específica, há outra via pela qual a atribuição ficcional de personalidade aos robôs vem pautando os debates de responsabilidade de sistemas autônomos, que consiste no debate sobre a abrangência das eventuais novas regras endereçando o tema: se geral ou restrita (setorial). Ultimamente, a sociedade tem tomado consciência da influência cada vez mais poderosa de algoritmos na vida cotidiana. Fala-se em algocracia, governança algorítmica e caixa-preta das decisões algorítmicas (ANEESH, 2009; MACHADO, 2018; PASQUALE, 2015). Tais reflexões são de primeira importância, mas o alarme tem levado a propostas regulatórias que endereçam os algoritmos de IA de maneira substancialmente unificada. Exemplos de propostas nesse sentido são a criação de agências regulatórias para supervisionar algoritmos de IA e a edição de princípios gerais de transparência algorítmica (DONEDA; ALMEIDA, 2016; TUTT, 2017). A partir da pesquisa que realizamos, no entanto, verificamos que a aplicação de tecnologias de IA em cada setor econômico poderá adquirir características muito específicas, e sua implementação estará possivelmente imbricada, de modo muito íntimo, com

---

25 A exemplo da Resolução do Parlamento Europeu, que será comentada na *Seção 5.1*.

a própria lógica do setor em questão. Isso é evidente nos carros autônomos, e, portanto, entendemos que é proveitoso discutir uma regulação setorial que atenda aos desafios inerentemente setoriais e nativos do sistema de trânsito.

Aliás, conforme esperamos deixar claro ao longo do presente capítulo, as próprias regras de responsabilidade civil poderão necessitar de uma aproximação ainda mais radical com a regulação da tecnologia do setor, visto que é difícil falar em responsabilidade civil no trânsito autônomo sem considerar a regulação dos softwares e algoritmos que permitem a construção de um tal sistema de trânsito. Isso traz para o debate de responsabilidade civil questões que estão tipicamente associadas ao direito digital, tais como o compartilhamento e a proteção de dados pessoais, a cibersegurança, a certificação de padrões e versões de software, entre outras, de modo que qualquer organização voltada ao debate e à atuação sobre reformulações jurídicas do setor deve considerar tópicos distintos de maneira integrada. Assim, embora não seja objeto da presente investigação, será inevitável fazer alusão a aspectos como esses no desenrolar de nossas avaliações.

## 4.2 Desafios mais urgentes

Carros sem motoristas podem parecer uma realidade ainda distante, sendo tentador especular que apenas no futuro suas implicações deverão ser sentidas e endereçadas. Contudo, embora as reformulações jurídicas mais profundas devam ser suscitadas a médio e a longo prazo à medida que a tecnologia for se desenvolvendo e ganhando aplicação comercial, é importante compreender que uma série de questões já se coloca no presente momento. Com efeito, como argumentaremos no *Capítulo 5*, a regulação de carros autônomos não deverá vir pronta em algum instante futuro, mas possivelmente será construída em etapas – ou momentos regulatórios. Mais ainda: já estamos vivendo o início dessas primeiras etapas e, portanto, tacitamente tomando decisões que poderão dar algum direcionamento às decisões das próximas etapas ou se consolidar como parte do quadro regulatório futuro. Daremos destaque aqui a quatro dessas questões urgentes que no nosso entendimento já existem e que a qualquer momento podem apresentar litígios à jurisdição.

A *primeira questão urgente* se relaciona à simples pergunta: carros autônomos são permitidos no Brasil? Há inúmeras regras de trânsito que poderiam fazer a resposta parecer simples. O CTB, além de conter uma série de normas de cuidado que pressupõem a existência de condutor humano (arts.

26 a 57), possui algumas previsões mais expressas no sentido de que o veículo deve ter um condutor, com destaque para os arts. 27 e 28,<sup>26</sup> este último exigindo que o condutor tenha, “a todo momento”, “domínio de seu veículo”, e para o art. 162, que define uma infração para qualquer condução de veículo sem a carteira de habilitação (ou permissão ou autorização), documento que só é conferido para humanos. Até mesmo os animais devem circular nas vias conduzidos por um guia (art. 53). A Convenção de Viena sobre o Trânsito Viário (Decreto n. 86.714/1981) é ainda mais expressa, postulando em seu art. 8º que “todo o veículo em movimento [...] deverá ter um condutor”.

Entretanto, a resposta pode não ser tão simples por dois motivos. Primeiro, em 2016 foi aceita uma emenda à Convenção de Viena sobre o Trânsito Viário expressamente voltada a permitir a condução por veículos autônomos (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015).<sup>27</sup> A Convenção é depositada e gerida na Organização das Nações Unidas (ONU) e possui regras próprias de modificação (art. 49), de modo que a emenda em questão já foi considerada aceita e entrou em vigência em 23 de março de 2016. Paira dúvida sobre se o Brasil teria de internalizar o novo texto para que este vigore no território nacional, o que pode ser alvo de questionamento na via judicial em caso de litígio. Entretanto, por não haver tradução em português, o mais provável é que ainda seja necessária a ratificação interna da emenda para que carros autônomos sejam considerados lícitos no Brasil pela Convenção.

O outro motivo de dúvida sobre a legalidade é atinente à constatação, trazida no *Capítulo 3*, de que carros autônomos não são necessariamente sinônimos de carros sem motoristas, i.e., não excluem a existência de condutor. Isso porque um sistema pode: (I) ter graus variados de autonomia, sendo semiautônomo; ou, (II) mesmo que capaz de ter autonomia total, ser supervisionado por um humano, que pode vetar decisões ou assumir o controle total ou parcial do veículo a qualquer momento. Situações desse tipo são, na verdade, comuns na etapa atual da tecnologia, em que, por um lado, os veícu-

---

26 “Art. 27. Antes de colocar o veículo em circulação nas vias públicas, o condutor deverá verificar a existência e as boas condições de funcionamento dos equipamentos de uso obrigatório, bem como assegurar-se da existência de combustível suficiente para chegar ao local de destino.

Art. 28. O condutor deverá, a todo momento, ter domínio de seu veículo, dirigindo-o com atenção e cuidados indispensáveis à segurança do trânsito.”

27 Texto integral da emenda contido em Organização das Nações Unidas (2014, p. 9-10).

los de maior grau de automação são protótipos de pesquisa sob supervisão humana e, por outro, os veículos já disponíveis no mercado, embora ainda não completamente autônomos, vêm tendo cada vez mais tarefas automatizadas, incorporando algumas aplicações de inteligência artificial (a exemplo do piloto automático da empresa Tesla).

O problema da legalidade nesses casos nos leva a desafios associados. Assim, temos uma *segunda questão urgente*, que se refere à ausência de protocolos específicos para motoristas de veículos autônomos. A condução de carros autônomos é uma atividade diferente da condução de veículos comuns. Trata-se de um perfil distinto de direção, que em alguns aspectos se aproxima da direção de modais mais automatizados como ferrovias e aviões. Nesse tipo de direção, o condutor assume tarefas tais como a supervisão da execução operada pela máquina, o veto ou a sobreposição das decisões automáticas, a escolha de rotas e destinos, a identificação e o endereçamento manual de instâncias de falha do sistema autônomo, o input de informações que a máquina não tem condições de determinar, a assunção de atividades que são muito difíceis ou arriscadas para a máquina, entre outras.

Já há exemplos de casos de acidentes que poderiam ter sido evitados caso existissem precauções e protocolos de segurança específicos para a direção de carros autônomos. No Brasil, o acidente com a apresentadora Ana Maria Braga, transmitido ao vivo quando ela fazia uma matéria sobre o veículo autônomo, ocorreu porque se operou a transferência do controle da máquina para o ser humano sem haver um condutor embarcado capaz de assumir o veículo (CARDOSO, 2013). Felizmente, o acidente não produziu ferimentos nem danos substanciais. No plano internacional, um dos acidentes mais noticiados ocorreu com um carro da empresa Uber, que atropelou e acabou matando uma ciclista. Os vídeos liberados do acidente levaram a grandes especulações sobre o que poderia ter ocorrido, mas as câmeras internas revelam que o motorista não estava com os olhos na pista nos instantes imediatamente anteriores à colisão (GARTENBERG, 2018). Especula-se que ele estaria consultando aparelho celular, confiando na capacidade do veículo autônomo, o que poderia ser evitado com diretrizes explícitas proibindo esse tipo de distração e treinamento específico para conhecer as capacidades do veículo. À luz desses acontecimentos, vale indagar até que ponto uma pessoa treinada para dirigir carros comuns está tecnicamente preparada para conduzir veículos (semi)autônomos. Estaria ela agindo com culpa por imperícia no caso de um acidente? Logo se vê que a ausência de protocolos bem estabelecidos e de treinamento especializado dificulta a atribuição de responsabilidade.

A *terceira questão urgente*, associada às duas primeiras, é o cenário de insegurança jurídica já vivenciado por pesquisas com carros autônomos. É fato que tais pesquisas já vêm acontecendo no Brasil,<sup>28</sup> e é crucial que assim seja, pois as implicações coletivas de possuir conhecimento e tecnologia nesse setor têm grande potencial econômico e estratégico (ver também a *Seção 4.5*). No entanto, a responsabilidade por acidentes no decorrer dessas pesquisas é incerta. Não apenas há dúvida quanto à legalidade do trânsito desses veículos e à ausência de protocolos de segurança, como também quanto à pessoa sobre a qual recairia a responsabilidade. Isso porque as pesquisas são desenvolvidas em sua maioria nas instituições estatais de ensino. Assim, haveria uma responsabilidade objetiva do Estado? Se sim, qual esfera estatal seria responsável, a instituição que detém a propriedade do veículo ou aquela que financiou a pesquisa? Ou a responsabilidade seria solidária? Uma seguradora poderia tentar se eximir dos custos de indenização caso descobrisse que o veículo é autônomo? E as pessoas do condutor e do pesquisador, seriam responsabilizáveis e/ou poderiam sofrer ação de regresso? Suas famílias poderiam requerer indenização do Estado em caso de fatalidade?

A dúvida sobre a responsabilização do pesquisador ilustra como a ausência de um regime claro de responsabilidade pode desincentivar iniciativas de pesquisa nessa área. Isso tem inclusive levado as pesquisas em andamento a restringirem a maioria de seus cenários de testes a ambientes *intracampi*, i.e., dentro dos limites da propriedade imobiliária da instituição de ensino, de modo a não adentrar vias públicas, o que é um limitador substancial para o desenvolvimento de soluções mais avançadas de carro autônomo. Além disso, as pesquisas atuais têm dependido do apoio e da boa vontade das autoridades locais ou estaduais de trânsito e do respectivo Poder Executivo,<sup>29</sup> o que está longe do ideal e pode, inclusive, implicar também essas autoridades em eventual responsabilização.

A *quarta questão urgente* pode ilustrar o quão próxima está a realidade de conflitos sobre responsabilidade civil de carros autônomos. Trata-se da

---

28 As pesquisas sobre carros inteligentes existem no País há quase uma década. Podemos citar os projetos de pesquisa desenvolvidos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com o CADU, pela USP São Carlos, com o CaRINA, e pela UFES, com a IARA. Podemos citar ainda as pesquisas desenvolvidas pela UFLA, que busca a criação de um campo de testes e a certificação de veículos autônomos.

29 Que auxiliam no isolamento das vias de trânsito quando da realização de testes, na escolha, na cobertura midiática e, de maneira geral, no enfrentamento do custo político da permissão para experimentos em vias públicas.

eficácia de provisões contratuais para serviços privados, de escopo geralmente agroindustrial, nos quais veículos autônomos já operam. Com efeito, veículos semiautônomos e até completamente autônomos vêm sendo utilizados em nichos da indústria, da agricultura e, mais raramente, da automação empresarial ou doméstica. No entanto, esses veículos não são os da frota regular, e sim veículos personalizados para cumprir tarefas muito restritas e específicas, a exemplo da pulverizadora automática JAV II, da empresa JACTO.<sup>30</sup> É possível, então, concluir que a responsabilidade civil do setor de veículos sem motoristas já está entre nós, e que esse campo já possui regras formuladas no Brasil, embora ainda apenas de natureza contratual e fora do escopo de aplicação do regulamento de trânsito.

Tais casos ilustram certas nuances do mundo de veículos autônomos. Embora estejamos ainda um pouco distantes da implementação de carros completamente autônomos de propósito geral, já existe tecnologia para veículos completamente autônomos de propósito específico. É bem possível que esses sejam o primeiro passo para um gradual alargamento das aplicações de carros autônomos. Assim, de uma pulverizadora que só anda em linha reta e breca ao primeiro obstáculo, podemos aos poucos passar a colheitadeiras que fazem curvas e desviam de obstáculos, aprimorar para pequenos comboios logísticos que atravessam uma grande propriedade e coletam e despejam cargas, até chegar ao transporte de pessoas dentro de grandes áreas residenciais privadas ou ao transporte geral de bens e pessoas em trechos contidos de vias bem definidas.

---

30 Vale ressaltar que já existem diversas aplicações, públicas e privadas, de veículos autônomos não terrestres, em especial os *drones* ou veículos aéreos não tripulados. Uma normatização inicial sobre *drones* vem sendo produzida há alguns anos e começa a se adensar em alguns países do Hemisfério Norte. Entretanto, os *drones* possuem características que são geralmente bastante distintas daquelas de veículos terrestres. Atualmente, sua finalidade mais comum não é a de transporte de passageiros, e sim funções como filmagem, reconhecimento, apoio e ataque militar, e, mais recentemente, a entrega de pequenas cargas na última milha. As condições de trajeto e as possibilidades de obstáculos são marcadamente distintas, havendo bem menos obstáculos no ar que no solo. Esses se concentram nas instâncias de pouso e levantamento de voo e nas variações de condições climáticas, com a completa ausência de seres humanos ao longo da quase totalidade dos trajetos. É de se indagar se as aplicações mais simples de veículos autônomos terrestres poderiam empregar regras de responsabilidade civil que já estão sendo desenvolvidas para *drones*. A questão, porém, foge do escopo da presente obra, visto que estamos interessados nas aplicações mais complexas de veículos terrestres, tais como o dia a dia do trânsito nas vias públicas.

Eventualmente, acidentes envolvendo tais veículos podem desde já ser trazidos ao Judiciário e inspirar formulações jurídicas iniciais importantes para o tema. Ainda, tendo em vista que o regulamento de trânsito também pode incidir sobre vias privadas de uso público, tais como condomínios, estacionamentos (art. 2º, parágrafo único, do CTB) e vias de passagem forçada sob o direito de vizinhança ou derivada de servidão, mesmo essas aplicações mais delimitadas podem eventualmente ser controladas pelo regulamento de trânsito. Um desafio inicial do novo conjunto normativo-regulatório é equacionar o que haverá de comum e o que será distinto entre os cenários de aplicação privada e aplicação pública, de propósito específico e propósito geral. Isso tudo ilustra a importância de pensar a responsabilidade civil de carros sem motoristas com base em cenários concretos de aplicação a curto e a médio prazo, levando em consideração tanto a gradual evolução da implementação de tecnologias quanto as efetivas capacidades de cada solução tecnológica, seu relativo nível de automação e o escopo de tarefas que é capaz de realizar. A partir da *Seção 4.3*, mapearemos outros desafios que, embora não sejam tão urgentes quanto os que acabamos de colocar, possivelmente surgirão nos próximos anos como desdobramento dos desenvolvimentos a que já estamos assistindo.

### 4.3 Maior incidência da responsabilidade objetiva?

Nas literaturas técnica e jurídica, há uma percepção de que o veículo autônomo é um *sistema automatizado de segurança crítica*, ou seja, um sistema no qual a segurança não é um aspecto de baixa relevância para seu funcionamento, e sim um dos aspectos mais centrais – se não o aspecto mais central (WACHENFELD; WINNER, 2016; LOHMANN, 2016). Assim, tal como em muitos setores com preocupação semelhante, a administração do sistema estará ligada a conhecimentos especializados e à gestão integrada de grande complexidade, o que convida à aplicação de regimes de responsabilidade baseados no risco. O cenário que se desenha para a evolução da tecnologia no setor é o de um esvaziamento das consequências das ações individuais de pessoas em grande parte leigas – condutores de veículos – e sua transferência para sistemas automáticos especializados. Por isso, uma parte significativa da doutrina, especialmente no âmbito internacional, vem especulando que o atual regime de responsabilidade civil em regra baseado na culpa do condutor experimentará uma guinada em direção à responsabilidade objetiva, sobretudo a remetendo ao fabricante (LOHMANN, 2016; PAGALLO, 2013; VLADECK, 2014). No Direito brasileiro, Lucas Silva (2017b) propõe nesse sentido a aplicação da teoria do risco proveito para deslocar a responsabilidade em direção ao fabricante.

Não obstante, por mais que seja tentador fazer conjecturas gerais, seguimos argumentando que as tecnologias de carros autônomos trazem desafios de responsabilidade e regulação que não são facilmente equacionados com formulações genéricas, apresentando, em sua concretude, diversas especificidades que podem acabar se mostrando decisivas. Assim, muito embora não descartemos a possibilidade de que haja maior incidência de hipóteses de responsabilidade objetiva do fabricante, acreditamos ser necessário levar em consideração outros complicadores que nos impedem de apresentar uma tendência generalizante para o futuro.

Em primeiro lugar, vale constatar que não há, ainda, nenhum modelo de negócio ou mesmo de operação estabilizado na indústria. O imaginário popular tende a apenas substituir o automóvel comum por um sem motorista semelhante, que já vem pronto e completamente automatizado de fábrica. Contudo, a realidade poderá ser um tanto diferente da popular conjectura.

Pelo lado da demanda, muito se especula sobre como o advento dos carros sem motoristas possibilitaria um desincentivo à propriedade direta e individual de veículos, cedendo lugar a regimes de propriedade compartilhada, aumento no número de veículos e viagens por aluguel, e/ou uma significativa incorporação de frotas autônomas na malha de transporte público das cidades. Com efeito, não se sabe ainda se a própria engenharia dos carros de passeio deixará de ser predominantemente voltada aos *designs* mais comuns de hoje, podendo rever certas características para atender às novas necessidades do mercado consumidor – por exemplo, um número diferente de assentos. Ainda, alguns regimes de responsabilidade e regulação podem se pautar no que já vem sendo praticado no mercado de viagens de aluguel por táxi, em que o provimento mais fortemente regulado pelo setor público cedeu lugar a aplicativos que trouxeram significativa ingerência regulatória privada, tais como os das empresas Uber, Cabify e 99POP.

Pelo lado da oferta, a introdução de um componente mais complexo e especializado de software sobre o componente mecânico (o veículo) poderá provocar alterações relevantes na própria cadeia produtiva de veículos, que deverá ganhar novas camadas. É possível que o produtor do componente mecânico seja o mesmo do software (a exemplo da empresa Tesla), porém isso não é mandatório, havendo exemplos de fabricantes de software que implementam suas soluções em veículos fabricados por empresas automotivas tradicionais (a exemplo das empresas Waymo e Uber). Ainda, além do componente mecânico, haverá o hardware propriamente dito, que consiste nos componentes eletrônicos do veículo necessários para a operação

do software (sensores, cabos, e chips, tais como processadores, memórias, placas de vídeo e outros elementos). É possível até mesmo que haja uma especialização no software ou no hardware, de modo que certas empresas se concentrem exclusivamente na produção de componentes muito específicos, tais como um driver, um sensor ou um algoritmo de aprendizado. Há, ainda, empresas especializadas no aprendizado de máquinas, seja no nicho de coletar e armazenar grandes massas de dados para treinamento, seja no nicho de oferecer aluguel de tempo e poder computacionais.

Não está claro como isso tudo se refletirá no mercado consumidor final. Assim como na indústria de computadores, poderemos ter a coexistência de modelos diferentes, tais como o de integração vertical completa, no caso dos produtos Apple, ou o de venda separada de componentes, no caso da Microsoft e da abertura de seu sistema Windows, que roda em PCs de variados fabricantes. Se couber ao usuário montar sua própria configuração ou escolher alguém que monte por ele, como isso impacta a responsabilidade por eventual acidente? E se um acidente for influenciado por uma infração competitiva de concorrência desleal ou discriminação de características de segurança e qualidade entre um concorrente verticalmente integrado e outro que está presente em apenas uma etapa da cadeia?

Outro complicador está no fato de que, atualmente, a responsabilidade do fabricante em acidentes de trânsito costuma incidir quando há um defeito mecânico no veículo que contribui para o evento danoso. No entanto, no futuro teremos um cenário em que os componentes mecânicos estarão em interação com as camadas eletrônica e lógica (i.e., hardware e software), o que pode complicar a atribuição de responsabilidades. Ainda, como vimos no *Capítulo 3*, não é tão simples determinar o que seria um “defeito” em arquiteturas conexionistas de IA. Conclui-se, portanto, que modelos setoriais diferentes podem ter implicações variadas para o mercado consumidor, de modo que aqueles que advogam doutrinariamente pelo aumento da responsabilidade objetiva do fabricante deverão especificar melhor sobre qual fabricante essa responsabilidade recairá, o que é bastante difícil de prever no presente momento.

A isso tudo se soma a possibilidade de que o fabricante seja distinto daquele que efetivamente opera ou mantém o software de direção. Assim, por exemplo, em regimes de propriedade compartilhada de veículos, a direção pode ser simplesmente um serviço contratado, gerido por uma plataforma. Ou mesmo na propriedade individual do veículo, pode não haver propriedade propriamente dita do software por parte do proprietário do veículo, e sim uma licença de uso, tal como acabou ocorrendo em várias indústrias digitais

contemporâneas.<sup>31</sup> Desse modo, o funcionamento do programa de direção e o provimento de atualizações ficariam inteiramente sujeitos à operadora. Na verdade, o próprio provimento de habilidades e cenários de treinamento do sistema automatizado pode vir a ser alvo de comercialização. Assim, dependendo da implementação tecnológica e comercial do arranjo de transações, não é descabível imaginar que funcionalidades críticas só estejam disponíveis caso o usuário desembolse valores adicionais para adquiri-las ou alugá-las – pague mais pela possibilidade de fazer ultrapassagens ou andar em estradas de terra! Em tal cenário, onde o operador ou mantenedor seria uma figura mais central, seria mesmo correto especular sobre a predominância da responsabilidade objetiva do fabricante?

A responsabilidade objetiva do fabricante ou do prestador de serviços é um instituto que remete, em geral, ao direito consumerista. Assim, seria tentador fazer outra generalização, ainda mais abrangente, de que o cenário futuro ensejará o deslocamento para as regras de Direito do Consumidor. Contudo, vale lembrar que o prestador de serviços de transporte opera na maioria das vezes no quadro do contrato de transporte, que, como vimos no *Capítulo 2*, é um contrato civilista. Na verdade, a depender do modelo de negócios e operação, o que poderemos ter é um aumento dos casos de responsabilidade contratual, seja ela objetiva ou subjetiva. Na ausência da formulação de normas mais específicas, é possível que a responsabilidade de carros autônomos venha a ser regida majoritariamente por contratos, o que poderia criar uma fricção entre o ordenamento civilista existente (materializado na espécie bem definida do contrato de transporte) e a prática de acordos de termos de uso e serviço, muito comum nos mercados de programas computacionais.

Qualquer uma dessas alternativas contratuais de aplicação poderia ser problemática. Quanto aos arts. 730 e ss. do Código Civil, que regem o contrato de transporte, estes foram elaborados pensando no transporte – por assim dizer – simplificado, conduzido por um ser humano, que não convida necessariamente a um aparato de registro, formalização e segurança tão estrito. No entanto, sendo o carro autônomo um sistema automatizado de segurança crítica, altamente especializado, e cuja facilidade de produzir registros é muito maior, é de se cogitar se não seria conveniente normatizar sobre os

---

31 A exemplo da indústria fonográfica, com aplicativos como o Spotify, da indústria de games, com o aplicativo Steam, e da indústria de aplicativos de celular, com as lojas virtuais da Apple e da Google.

elementos básicos do contrato de transporte em veículo autônomo, tomando o exemplo do contrato de transporte aéreo, que é uma espécie contratual de exigências mais estritas e regida por lei específica (Código Brasileiro de Aeronáutica, Lei n. 7.565, de 19 de dezembro de 1986, arts. 222 e ss.). Quanto aos termos de uso e serviço, estes poderiam ser regulados pela legislação consumerista por força do art. 7º, XIII, mas é sabido que existem grandes falhas de consentimento informado nesses contratos (SAVIRIMUTHU, 2005; AYRES; SCHWARTZ, 2014). Dessa forma, deixar a regulação do tema no colo desses contratos de adesão poderia ser muito favorável às empresas operadoras dos serviços e prejudicial para o restante da sociedade.

De todo modo, tais observações sobre a responsabilidade contratual nos permitem concluir que uma eventual maior incidência da responsabilidade objetiva não é algo certo. A responsabilidade subjetiva é um instituto cuja formulação se encontra bastante madura e cuja fronteira com a responsabilidade objetiva pode ser tênue. Não por acaso a modalidade objetiva surgiu a partir de sucessivos desdobramentos da modalidade tradicional subjetiva. Às vezes, a obtenção de resultados regulatórios semelhantes pode ser operada por qualquer uma das modalidades. Assim, antes de defender um apagamento da modalidade subjetiva por si só, será mais proveitoso pensar em como garantir que eventuais regras subjetivas, contratuais ou não, sejam regras bem desenhadas e com bons resultados.

Nesse sentido, a responsabilidade subjetiva pode ser especialmente interessante quando sua interpretação é combinada com outros dispositivos. Conforme vimos no *Capítulo 2*, é justamente essa a realidade atual no ramo automobilístico. Por exemplo, a inversão do ônus da prova não necessita da regra objetiva para ser concretizada, havendo vários parâmetros específicos no regulamento de trânsito que permitem a inversão do ônus na responsabilidade subjetiva por meio de técnicas como a culpa contra a legalidade ou a culpa presumida *juris tantum*. Esse é um dos motivos pelos quais a ausência de uma regulação de trânsito específica para veículos autônomos poderá dificultar a formulação de boas regras de responsabilidade subjetiva, deixando espaço para regras ruins baseadas em cláusulas contratuais não regulamentadas.

Ainda especulando sobre o potencial da modalidade subjetiva, pode-se imaginar, inclusive, que as normatizações futuras prevejam balizas de conduta para as diferentes partes envolvidas em um projeto de carro autônomo: engenheiros e desenvolvedores de software, pesquisadores, usuários e proprietários. Com parâmetros regulamentares, seria mais fácil, por exemplo, averiguar se um desenvolvedor terá atuado com imperícia ao lançar um software que

não está adequado para os trechos em que opera. Ou se um usuário teria agido com imprudência ao fazer circular um veículo de sua propriedade cujo software de direção não recebeu uma atualização crítica disponibilizada pela sua mantenedora. Toda “recusa de atualização” seria uma prática deslocadora de responsabilidade para a pessoa do usuário? Certamente a presença de um marco regulatório que combine provisões técnicas com modelos de operação poderia ajudar na resposta a perguntas desse tipo.

No *Capítulo 5*, voltaremos a discutir possibilidades regulamentares que poderiam auxiliar nesses e em outros casos. Por ora, vale discutir um último aspecto que ilustra como a modalidade subjetiva deverá permanecer relevante e ativa por um bom tempo. Trata-se do longo período de coexistência que inevitavelmente haverá – e em alguma medida já existe, ver *Seção 4.2* – entre veículos autônomos e veículos comuns. Na realidade, nem mesmo sabemos se esse período chegará ao fim algum dia, o que equivale a dizer que não temos resposta para a indagação de se os carros não autônomos eventualmente desaparecerão por completo do sistema de trânsito. Em tal cenário de coexistência, será preciso identificar as situações nas quais a responsabilidade não pode ser atribuída ao veículo autônomo ou seu condutor, seja porque incide algum caso (ainda hipotético) de *exclusão de responsabilidade* envolvendo a máquina, seja porque a responsabilidade deve ser atribuída a algum outro agente.

Para ilustrar uma hipótese nesse sentido, podemos tomar o caso em que um veículo comum, não respeitando a distância de segurança (art. 29, II, do CTB), colide com um veículo autônomo. Um dos principais motivos para que o desrespeito à distância de segurança atraia, em regra, a responsabilização é que existe um limite de tempo de reação por parte do condutor humano, especialmente se a colisão for em um lugar de dificuldade de visão. Entretanto, máquinas com sensores podem não ter as mesmas dificuldades, com maior capacidade de visão e menor tempo de reação. Ou, contrariamente, máquinas que estão sendo testadas atualmente podem ter tempo de reação maior. Esses fatos alterariam a atribuição de responsabilidade ao condutor humano que colidiu com a máquina autônoma?

Outra hipótese pode ser construída a partir do acidente da Uber trazido anteriormente, se imaginássemos que a conduta da ciclista atropelada fora determinante para o acidente. Poderíamos pensar que haveria culpa da vítima ou, no mínimo, culpa concorrente. No entanto, a culpa da vítima também se baseia em parâmetros de condutores humanos de veículos não autônomos, tais como, novamente, o tempo de reação e o campo de visão. No caso da vítima que se joga na pista de alta velocidade sob neblina, por exemplo,

pode-se considerar que ela incorre em culpa. Contudo, carros autônomos podem ter sensores de laser ou radar que não são afetados pela neblina, bem como um tempo de reação diferente. Como aferir a culpa da vítima considerando parâmetros que não são mais exclusivamente humanos? É de se notar que, até o momento, as empresas desenvolvedoras de carros autônomos têm sido muito influentes em suas recomendações de atribuição de responsabilidade civil em acidentes, não somente por causa da ausência de parâmetros dotados de autoridade pública, mas também pelo fato de tais empresas deterem os recursos para esclarecer os acidentes. No caso Uber, a empresa divulgou vídeo editado no qual passava a ideia de que mesmo para um humano aquele acidente seria inevitável. Outro exemplo é o da empresa Waymo, que atribui a si própria a responsabilidade por elaborar relatórios de acidentes envolvendo seus veículos (KOVACH, 2017).

Depreende-se que uma questão que começa a se colocar na prática dos carros autônomos é não somente quando estes geram e atraem a responsabilização, mas também quais os parâmetros e as hipóteses nos quais eles devem ser afastados da responsabilização, ponderação que possivelmente necessitará recorrer às doutrinas de responsabilidade subjetiva, mesmo que exista uma regra de responsabilidade objetiva incidente no caso. Em uma analogia mais grosseira que serve para arrematar esse ponto, a figura do “homem médio”, tão aludida na responsabilidade civil como patamar de devido cuidado, pode vir a ser substituída e/ou complementada por parâmetros distintos de “máquinas médias”. No estágio ainda prematuro da tecnologia, os parâmetros dessas máquinas são certamente mais baixos, sendo o gradual desenvolvimento das soluções tecnológicas algo que poderá ser relevante para a responsabilidade civil.

#### 4.4 Infraestrutura e responsabilidade

Na seção anterior, introduzimos uma série de nuances que nos levam de volta ao complexo cenário da responsabilidade civil no trânsito descrito anteriormente no *Capítulo 2*. Comentamos que esse ramo do Direito possui muitos institutos e regimes que por vezes se sobrepõem e por vezes se complementam, de modo que vários regimes diferentes de responsabilidade podem coexistir. Relativizamos o tentador prognóstico de que a modalidade objetiva passará a imperar e abrimos espaço para diferentes hipóteses e configurações, concluindo que o futuro da responsabilidade civil ainda é incerto. Com isso, entretanto, não queremos argumentar o inverso, ou seja, que a responsabilidade subjetiva será preponderante e deixará a responsabilidade objetiva obsoleta.

Na presente seção, exploraremos um elemento específico de responsabilidade objetiva que deverá ganhar destaque em sua coevolução com a tecnologia: a responsabilidade pelas falhas relacionadas à infraestrutura.

Conforme pontuamos no *Capítulo 3* e nas seções anteriores do presente capítulo, a tecnologia atual ainda não produz veículos autônomos prontos para trafegar em toda e qualquer via tal como um humano conduzindo veículo comum é capaz de fazer. Vale enfatizar que o mais provável é que estejamos ainda relativamente longe desse estágio. Nesse ínterim, é estritamente necessário que haja um grau significativo de controle do ambiente. O desenvolvimento da tecnologia é em parte guiado por metas de curto e médio prazo que consistem em solucionar problemas específicos para ambientes mais simples e bem delimitados. Como automatizar uma pulverizadora de veneno em plantação perfeitamente alinhada de laranja? Como automatizar uma colheitadeira em plantação de geometria irregular? Como automatizar o transporte em shopping center, aeroporto ou condomínio de baixa circulação? Como circular em determinada cidade de alta renda, baixa densidade, pequeno porte e trânsito leve e organizado?

A previsibilidade sobre o ambiente é essencial em pelo menos dois aspectos. Primeiramente, a aplicação específica é que determinará quais tarefas o veículo deverá ser capaz de executar e com que grau de competência. A pulverizadora não precisa saber muito mais que reconhecer o seu caminho, manter o veículo razoavelmente reto a velocidade constante, fazer curvas regulares a velocidades baixas e breicar ao menor sinal de qualquer obstáculo. Contudo, a colheitadeira precisa reconhecer não somente seu caminho, mas também: diferenciar as áreas que ainda devem ser cobertas das áreas que já receberam cobertura; reconhecer e desviar de obstáculos imóveis como árvores, construções, pequenos corpos d'água e fronteiras da propriedade, porém breicar ao encontrar obstáculos móveis como pessoas e animais; otimizar o caminho em razão do custo de cobrir áreas não regulares; entre outras tarefas. É assim que as aplicações vão crescendo em complexidade.

Em segundo lugar, boa parte da dificuldade de implementar uma arquitetura eficaz de veículos autônomos consiste em fazer a máquina aprender a reconhecer e classificar objetos ao seu redor. Assim, variações grandes o suficiente daquilo que a máquina foi treinada a reconhecer e classificar podem resultar em complicações severas. Num condomínio que pintou suas vias de circulação com cores, a máquina pode ter dificuldade em reconhecer o asfalto, necessitando de aprendizado específico para aquela localidade. Estendendo essa ideia, vias com diferentes tonalidades (ex.: terra vermelha ou

bege; asfalto cinza claro ou escuro) e graus de refração da luz (ex.: sol forte com asfalto seco ou tempo nublado com asfalto molhado; pista com oleosidade) podem criar a necessidade de um novo treinamento da máquina para que o veículo seja capaz de reconhecer o campo navegável e, portanto, trafegar naquele local. Da mesma forma, placas que seguem padrões diferentes, ou que estejam sujas, tortas ou pichadas, ou ainda que estejam posicionadas em duas pistas próximas, são situações que oferecem desafios substanciais para as arquiteturas de inteligência artificial.

Outros inúmeros exemplos podem ser oferecidos, entre os quais: faixas que não estão pintadas de maneira rigorosamente clara, trechos onde a continuidade de tons do solo é alterada, mudanças de terreno da pista, obras na pista e seus arredores que provocam interrupção no trajeto ou nos padrões visuais do local, condições climáticas, velocidade usual com que os objetos móveis se locomovem na pista e ao seu redor, ambiguidades de sinalização, falta de indicação clara da mão da pista, ângulos e inclinações extremos na via, buracos e outras patologias estruturais, obstáculos muito leves que poderiam ser atropelados (ex.: sacos plásticos vazios, jornais, pedaços de isopor), semáforos com tecnologias diferentes de luminescência ou manifestando tonalidades ligeiramente discrepantes, cones que estão caídos ou cujo alinhamento não é perfeito e cuja distância entre si não é suficientemente próxima, placas de velocidade que são posicionadas na traseira de veículos para indicar sua velocidade máxima, mas que são muito semelhantes a placas fixas de velocidade da via, captura de estímulos visuais, sonoros ou de outro tipo que enganam os sensores do veículo, etc.

Percebe-se que vários dos percalços listados acima têm a ver diretamente com a infraestrutura de trânsito. Como vimos no *Capítulo 2*, é da atribuição do Estado, sobretudo do SNT, manter uma infraestrutura de trânsito de qualidade, podendo ser objetivamente responsabilizado em caso de acidentes causados por falhas nesse quesito. Entretanto, considerando que as máquinas têm muito mais dificuldade que seres humanos em reconhecer padrões, qual será o nível de rigor que deve ser exigido do Estado? A placa que está um pouco torta, o semáforo cuja cor se desbotou, a pista que, na primeira chuva depois da estiagem, apresenta mais oleosidade e tem seu índice de refração da luz alterado, a obra que causa um desvio sobre terra e brita, os cones que não estão posicionados em linha ou com tanta antecedência espacial, tudo isso em regra não faz incidir a responsabilidade sobre o Estado, pois condutores humanos são capazes de lidar facilmente com eventualidades desse tipo e reconhecer os padrões relevantes subjacentes. Frisamos:

o principal pilar da responsabilidade civil automobilística contemporânea é o comportamento de um condutor humano, seja qual for a modalidade da responsabilidade. Na ausência de novos regulamentos que indiquem de forma mais clara as condições da via que deverão ser garantidas para permitir o funcionamento de sistemas autônomos, caberá exclusivamente à doutrina, à jurisprudência e às práticas contratuais redesenhar os limites da responsabilidade objetiva do Estado. Por isso, é importante pensar em legiferância ou, pelo menos, normatização administrativa sobre o tema.

Aliás, as hipóteses listadas revelam que pode ser desejável repensar também a gravidade de condutas que atualmente já são ilícitas e atingidas por regras de responsabilidade quaisquer, sejam civis, administrativas ou penais. Por exemplo, tendo em vista que carros autônomos têm mais dificuldade de reconhecimento de objetos atropeláveis, seria ainda mais grave incorrer na infração do art. 172 do CTB, qual seja, “atirar do veículo ou abandonar na via objetos ou substâncias”? Isso poderia impactar o montante de uma indenização, o grau ou a modalidade de culpa, ou ainda a própria atribuição da responsabilidade?

É forçoso reconhecer que o passo da implementação de carros autônomos em muitos lugares do País dependerá de investimento maciço em infraestrutura de trânsito por parte do Estado, bem como de um esforço de padronização em conjunto com as concessionárias de vias públicas e as proprietárias de vias privadas abertas. Como esse investimento será feito, como se atribuirão juridicamente as esferas de competência, e quais serão os padrões a serem adotados, tudo isso poderá resvalar nas atribuições de responsabilidade civil por acidentes no trânsito.

De outro lado, sabemos que o desenvolvimento da tecnologia tenta driblar as dificuldades e encontrar maneiras de solucionar gradualmente problemas específicos de maior complexidade. Nessa trilha, já é possível encontrar saídas iniciais para dificuldades de infraestrutura, o que nos dá pistas quanto a possíveis modelos de negócio e cenários de transição e maturação na implementação da tecnologia.

Tais saídas ocorrem em basicamente duas frentes. A primeira consiste em escolher as vias e localidades com condições muito favoráveis a sistemas autônomos e restringir o tráfego a tais localidades, conforme mencionamos acima. É o que faz, por exemplo, a Waymo (Google) quando escolhe trafegar regularmente em cidades pequenas e com sistemas de trânsito bem estruturados. Existem condições de via que são superiores a outras e trechos em que a circulação é muito mais simples de ser automatizada. Assim, pode-

mos testemunhar nos próximos anos a automação em trechos específicos, tais como rodovias duplicadas e bem sinalizadas ou cidades menores onde existam esforços pioneiros de implementação. Esse cenário pode trazer questões interessantes em termos de responsabilidade, por exemplo: deve haver uma conduta diferenciada dos motoristas humanos, mais previsível e prudente, quando trafegarem em tais trechos? Deve haver uma responsabilidade maior do Estado pela garantia da infraestrutura nesses trechos? Uma operadora de serviços de direção autônoma pode ser responsabilizada caso o veículo por algum motivo trafegue fora do trecho onde o serviço está previsto? Como a regulação específica e pioneira de tais trechos pode ajudar a moldar os marcos regulatórios futuros no setor?

A segunda frente consiste em uma estratégia de solução tecnológica que tenta simultaneamente (I) aumentar as redundâncias do sistema autônomo e (II) mitigar seu isolamento. É possível aumentar as redundâncias sem mitigar o isolamento, sendo uma maneira de fazer isso o aumento do número de sensores no veículo e o uso de sensores de diferentes tipos. A esse exemplo podemos citar o veículo que recebe dois pares de câmeras em vez de um só<sup>32</sup> e também ganha radares e lasers. Todas são tecnologias de “visão” e detecção de obstáculos e, portanto, são em parte redundantes em sua função. Contudo, o sistema será mais resiliente, pois na falha de alguma dessas fontes sensoriais o veículo pode recorrer às outras, assim como pode combinar as informações de cada fonte e obter uma descrição mais completa de seus arredores. Não obstante, tais aprimoramentos não impedem que esse veículo, sem um sistema de localização, continue ilhado, tal como um condutor humano sem conhecimento local que dirige em lugar deserto. Assim, apesar de saber inicialmente reconhecer obstáculos e se manter no caminho, o veículo andar “perdido” e poderá logo encontrar condições ambientais adversas para as quais não está preparado. O veículo nessas condições precisará dar conta de uma ampla gama de tarefas de reconhecimento e classificação, em um nível próximo ao de seres humanos, algo que as tecnologias atuais não têm capacidade de atender.

Para contornar esse problema, é preciso fazer com que o veículo rompa seu isolamento e converse com seu ambiente, de modo a receber *feedback* sobre variáveis-chave, tais como a sua localização, as vias que de fato são navegáveis e os detalhes mais precisos sobre a sinalização e as regras de

---

32 As câmeras nas arquiteturas mais recentes vêm em pares ou, às vezes, trios porque isso permite a localização espacial em três dimensões, usando a técnica da paralaxe.

trânsito da região. Podemos chamar os sistemas informacionais de *feedback* de sistemas de apoio ou infraestrutura. Atualmente, o sistema de suporte mais conhecido e comum é o GPS, que ajuda o veículo em várias tarefas, desde a detecção de obstáculos perenes até a localização e a definição de rotas. Também já existem aplicativos de informação e monitoramento de tráfego que podem ajudar os veículos a detectar a presença de variáveis ambientais regulares – velocidade da pista, cruzamentos, zonas de estacionamento, locais e horários de grande densidade de trânsito – e irregulares – obras, congestionamentos incomuns, ruas fechadas, bem como a localização de outros veículos que estão com o GPS ativado. Isso faz com que a conexão com as redes e a segurança dos dados devam ser garantidas, campo que também poderá gerar demandas de responsabilidade civil.

Outros sistemas de apoio dependem diretamente da existência de componentes eletrônicos de rede instalados na infraestrutura e estabelecem comunicação direta com o veículo, a exemplo de um semáforo que pode se conectar via rede local wireless com o veículo e lhe informar se está fechado, aberto ou fora de funcionamento. Tais soluções têm sido chamadas de *Vehicle2Infrastructure* ou *V2I*. Analogamente, existem também as soluções *Vehicle2Vehicle* ou *V2V*, em que dois veículos estabelecem conexão entre si e trocam informações relevantes, como a rota que pretendem seguir ou a velocidade que devem alcançar nos instantes seguintes.

Os sistemas de apoio facilitam enormemente a implementação de carros autônomos. Com efeito, a maioria das arquiteturas contemporâneas depende crucialmente do GPS e de outros sistemas informacionais, que fornecem dados tais como velocidade máxima da via, localização dos semáforos, curvatura das faixas, entre outros (JAFFE, 2014). Esse fato traz mais uma reflexão para a responsabilidade civil: quem deve indenizar no caso de uma falha que não foi proveniente do sistema embarcado, mas, sim, do sistema de suporte? Que regra de responsabilidade deverá ser adotada? A regra pode mudar de acordo com o sistema de suporte específico que falhou? Outras questões que podem ser colocadas se conectam a reflexões que antecipamos na seção anterior quanto à possibilidade de exclusão de responsabilidade do carro autônomo. Um bom exemplo é tentar imaginar o que seria caso fortuito externo para um carro autônomo, tendo em vista seus diferentes níveis de percepção do ambiente e entrelaçamento com sistemas de apoio.

Por fim, vale fazer algumas observações no sentido de que a interação de veículos autônomos com seus arredores toca em aspectos que vão além da responsabilidade civil e que poderão ser pensados em conjunto nos mar-

cos de política pública a serem adotados para o setor. É possível perceber que a entrada de uma empresa qualquer em um mercado local dependerá de muito conhecimento específico. O reconhecimento de padrões próprios de cada localidade, o mapa detalhado do sistema de trânsito, os eventos que podem afetar significativamente o tráfego, entre outras variáveis. Será necessário um grande volume de dados de treinamento para viabilizar o aprendizado de máquinas que estejam aptas a operar em novas localidades, especialmente quando houver mudança substancial de cultura e de padrões sensoriais do ambiente.<sup>33</sup> Além disso, o GPS utilizado pelo Brasil é uma infraestrutura mantida pelos Estados Unidos, e cuja precisão é intencionalmente diminuída por questões estratégicas – as melhores margens de erro ficam em torno de 10 m a 15 m –, o que requer a instalação de bases terrestres locais para aumentar a precisão a níveis aceitáveis – de 10 cm a 15 cm.

Dada a dependência do sistema GPS, há que ser considerada a questão geopolítica da propriedade dos satélites utilizados. Atualmente, encontram-se operacionais dois sistemas de posicionamentos, o americano GPS/NAVSTAR e o russo GLONASS. Ambos desenvolvidos para fins militares, o sistema americano permite o uso civil gratuito. Encontram-se ainda em fase de implantação o sistema chinês Compass e o europeu Galileo. Desses, apenas o sistema europeu foi concebido desde o início como um projeto civil.

A preocupação geopolítica surge do fato de que a dependência do sistema americano, operado pelo Departamento de Defesa Americano, torne vulneráveis as aplicações críticas que dependam de grande nível de precisão para operar, como é o caso dos veículos autônomos. Em situações de conflito, imagina-se que os americanos poderiam desligar a cobertura do serviço para determinadas áreas ou inserir dados falsos de localização de forma a prejudicar o funcionamento do sistema em outros países que conflitem com seus interesses.

Se o Brasil não quiser ficar à mercê de empresas estrangeiras, sobretudo estadunidenses, que têm imensa capacidade de obtenção de dados para desenvolver tecnologia própria, nem do governo estadunidense para a soberania nessa área, deverá pensar em políticas integradas para o setor que envolvam planejamento, investimentos substanciais de infraestrutu-

---

33 É de se ressaltar que parece existir uma enorme economia intensiva em trabalho humano em economias periféricas por trás da classificação de dados para compor grandes bases de aprendizado supervisionado destinadas à incorporação contínua de novos cenários, algo que é raramente trazido a público pela indústria e que aumenta muito a barreira de entrada no setor, bem como intensifica o efeito estratégico da posse exclusiva de dados (BRADSHAW, 2017).

ra, desenvolvimento e efetivação de padrões, abertura de bases de dados para a diminuição das barreiras à entrada, entre outros fatores. No *Capítulo 5*, exploraremos possibilidades de um *framework* regulatório que possibilite a confecção de políticas nesse sentido caso haja vontade política para tanto.

## 4.5 Possíveis dificuldades periciais

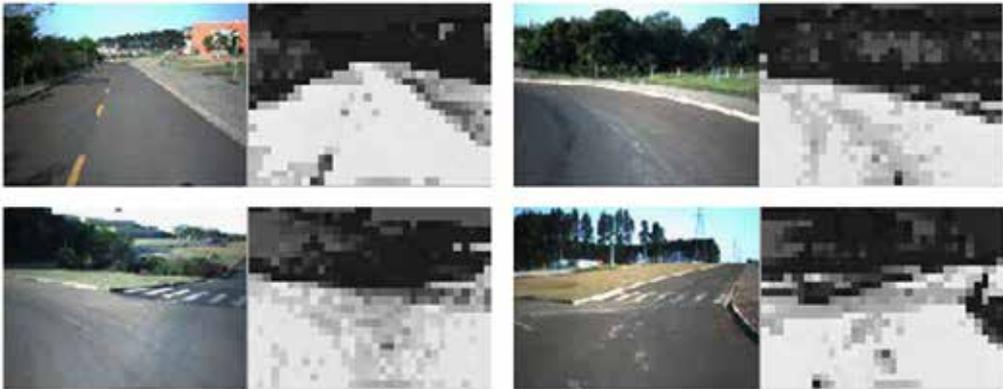
A perícia é uma das áreas mais importantes da responsabilidade civil no trânsito. Frequentemente, é ela que esclarece detalhes do acidente que são cruciais para determinar a atribuição de responsabilidade, constituindo um dos principais meios probatórios nesse campo. Uma de suas finalidades preponderantes é a de reconstituir a cena do acidente. Conforme mencionado no *Capítulo 2*, a perícia automobilística contemporânea é bastante desenvolvida e capaz de lidar com uma ampla gama de situações envolvendo veículos comuns, baseando-se em parâmetros conhecidos do ambiente (propriedades do asfalto, variáveis climáticas), de seres humanos (tempo de reação, campo de visão), de sistemas mecânicos (quantidade de movimento, velocidades de colisão, balística, capacidades estruturais), de materiais (óleo, combustíveis, carrocerias), entre outros.

O advento de carros autônomos traz novas camadas de complexidade para a perícia. Conforme antecipamos nas seções anteriores, as falhas em carros autônomos podem se originar de variadas fontes: o hardware e os sensores; os algoritmos de IA conexionista; a correta identificação de estados do sistema e do ambiente; as instâncias de integração sistêmica e de decisão centralizada; a conexão com os sistemas de apoio; entre outras. Boa parte da recuperação dessas variáveis dependerá do acesso a dados eletrônicos sobre o estado do sistema no momento do acidente.

Para dar uma dimensão fiel da importância do acesso a esses dados, vale retomar em mais detalhes alguns aspectos de funcionamento do carro autônomo. Quando se depara com seu ambiente, um carro autônomo deve seguir uma ontologia pré-determinada pela equipe de desenvolvimento e classificar os seus inputs sensoriais de acordo com ela. Por exemplo, ao se deparar com uma rua vazia, uma das primeiras atividades do veículo autônomo será distinguir a rua propriamente dita de todo o resto. Assim, se o carro possui uma câmera na sua dianteira, um conjunto de redes neurais do sistema classificará todo o campo de visão da câmera entre as categorias “navegável” e “não navegável”. A *Figura 5* exemplifica essa situação conforme experimentada por um veículo autônomo desenvolvido por pesquisa brasileira. Em cada dupla de

imagens, a da esquerda é o input sensorial da câmera, e a da direita é a classificação feita pelas redes neurais, sendo os pixels mais claros classificados como “navegável” e os mais escuros como “não navegável”.

**Figura 5 •** Classificação do campo de visão da câmera do veículo autônomo



Fonte: Sales *et al.* (2014, p. 159).

As categorias no repertório da IA devem ser mais abundantes quando o veículo circula em ambientes mais complexos. Por exemplo, o veículo pode formar uma ideia acerca de diferentes objetos ao seu redor: “obstáculo fixo”, “obstáculo móvel”, “placa de trânsito”, “semáforo”, “pedestre”. O veículo pode também acompanhar objetos móveis, o que significa que ele terá de reconhecer, em meio a várias imagens sucessivas, que um objeto em movimento é o mesmo (ou seja, tem uma identidade constante entre todas as imagens). Quanto mais nuances, mais difícil. As imagens a seguir ilustram ontologias instantâneas construídas por carros da Waymo:



Carro cujo trajeto (linha e faixa verdes) foi bloqueado por um caminhão de lixo (roxo).



Ontologia que identifica uma série de objetos diferentes ao redor de um veículo parado no semáforo. No canto inferior esquerdo: foto da cena conforme vista do interior do veículo (JAFÉ, 2014).

Por mais que os motivos específicos que levam a IA a fazer determinada classificação não sejam sempre deterministas e passíveis de compreensão por humanos, em virtude do paradigma conexionista explicado na *Seção 3.2*, a ontologia final formulada pelo veículo é transparente e registrada na forma de dados eletrônicos. Com efeito, os estados do sistema autônomo ao longo do tempo podem ser posteriormente recuperados desde que exista um subsistema que os registre, por vezes chamado de *logger*. O *logger* pode facilitar imensamente a reconstituição da cena de acidentes. Ainda mais importante, o acesso a registros desse tipo seria imprescindível para a resolução de certos aspectos probatórios. Por exemplo, no caso do acidente da Uber descrito anteriormente, é de se indagar se a ciclista, que acabou atropelada, havia sido devidamente reconhecida pela ontologia do veículo ou não. Caso não tenha ocorrido o reconhecimento da ciclista, a existência de um registro permite averiguar se o motivo foi uma falha na classificação da IA ou uma falha de sensores (que foram fabricados por outra empresa). Caso tenha ocorrido o reconhecimento, é necessário indagar por que o sistema como um todo não deu conta dessa informação da maneira adequada. Esse caso é um exemplo interessante, tendo em vista que a Uber não foi transparente quanto aos dados do *logger*, ou mesmo se o veículo possuía um. Ainda que houvesse o *logger*, a empresa possivelmente teria acesso irrestrito aos dados gravados, e, por isso, a queima ou alteração da prova seria mais fácil. Isso demonstra

uma enorme vulnerabilidade para a atividade probatória na responsabilidade civil de acidentes envolvendo carros autônomos. Por isso, no *Capítulo 5* consideramos propostas específicas para endereçar esse problema.

Outra dificuldade que pode se apresentar à perícia está relacionada à natureza do aprendizado de máquina. Em geral, a maioria dos sistemas hoje separa o momento do aprendizado do momento de direção. Assim, o algoritmo de aprendizado opera permanecendo desembarcado, num momento em que o veículo está parado, e gera um determinado conjunto de parâmetros aprendidos. Posteriormente, esse conjunto de parâmetros é usado para configurar o algoritmo de classificação. Agora dotado de parâmetros já aprendidos e fixos, o algoritmo de classificação é aquele que vai rodar embarcado no veículo e executar as classificações sucessivas em tempo real. A esse sistema se chama *aprendizado off-line*. Conforme mencionado na *Subseção 3.2.1*, no entanto, existem soluções que se utilizam do *aprendizado on-line*, isto é, um aprendizado embarcado, em que o conjunto de parâmetros vai sendo aprimorado enquanto o veículo roda, levando em consideração os novos inputs sensoriais que ele vai recebendo (NORVIG; RUSSELL, 2013; ZHOU *et al.*, 2010). Embora essa técnica tenha a vantagem de adicionar flexibilidade e especificidade às competências do robô, que pode ter um aprendizado mais customizado e menos dependente de casos gerais, ela também tem seus riscos. Isso porque, visto que o aprendizado não é determinista, um sistema que baseie suas decisões em resultados imprevisíveis terá comportamentos ainda não testados e cujo nexo causal será mais difícil de rastrear para fins de responsabilidade. Também levamos em consideração esse tipo de risco em nossas propostas do *Capítulo 5*.

## 4.6 Carros autônomos e direito dos seguros

Revisaremos aqui brevemente uma última questão frequentemente levantada na doutrina, que é o papel dos seguros no futuro do setor. Por uma lógica semelhante àquela que argumenta pelo aumento da incidência da responsabilidade objetiva, muito se especula que a maior especialização da gestão do risco trazida pela automação levará a uma necessidade de remeter a resolução de mais problemas para o direito securitário (SCHELLEKENS, 2015; LOHMANN, 2016).

É certo que as práticas do setor de seguros deverão se alterar para endereçar o uso de carros autônomos. Na verdade, como colocado na *Seção 4.2*, isso já é um desafio para pesquisas e aplicações pioneiras em vias privadas, que podem estar operando sem cobertura adequada. O perfil de uso – e, com isso, de risco – se altera. Além disso, deve-se repensar a pessoa que pode ser

autorizada como motorista, se é que esta será necessária, algo que se conecta com o problema da ausência de habilitação específica para a condução de carros (semi)autônomos.

Por esses e outros motivos, a partir das nuances que introduzimos nas seções anteriores, é possível especular que a variedade dos seguros aumentará. Será possível pensar em seguros diferentes para trechos diferentes? Ou para aplicações diferentes? Seguros distintos para os variados nichos empresariais que passarão a compor o setor no lado da oferta? Ainda, outras perguntas interessantes, muitas delas baseadas no que já vimos, poderão ser colocadas: a recusa de atualização do software por parte do usuário poderá eximir a seguradora de arcar com os custos? O comprometimento das informações do *logger* será prejudicial ao beneficiário nessa relação? Apesar das pontas soltas que se produzirão nesse ramo, do ponto de vista das seguradoras, é possível especular que o balanço geral das inovações se traduzirá em excelentes oportunidades de negócio, pois o extremo controle de todas as variáveis internas e ambientais que as arquiteturas de sistemas autônomos inerentemente demandam implica que as informações concernentes ao perfil de uso e risco serão abundantes. É de se indagar inclusive em qual extensão as seguradoras poderão condicionar suas apólices ao acesso de dados gravados. E talvez algumas questões de responsabilidade civil surjam justamente quanto à proteção e ao compartilhamento de dados pessoais veiculares, caso algum incidente relacionado a esse tópico venha a causar dano a usuários.

Devemos, é claro, relembrar nossas observações anteriores (ver *Capítulo 2*) de que os seguros de responsabilidade civil não originam a responsabilidade pelo acidente, mas apenas cobrem os custos que o segurado ou beneficiário terá quando lhe for atribuída essa responsabilidade. Do ponto de vista jurídico, a origem do dever sucessório de indenizar continua sendo a regra legal ou contratual. Isso evidencia a limitação dos seguros privados de atuarem como uma proposta genérica para a resolução dos problemas de responsabilidade civil no setor: as soluções securitárias geralmente refletem as regras de responsabilidade fixadas em outras fontes. O que os seguros oferecem é uma garantia a mais para proteger agentes privados do risco que suas atividades geram, desde que tenham a condição financeira necessária. De um ponto de vista regulatório, é de se ponderar sobre a edição de normas não propriamente de responsabilidade civil, mas de direito contratual e consumerista, que poderão proteger as pessoas leigas no momento de ingressar em uma relação contratual que diz respeito a sistemas cujo nível de especialização e conhecimento técnico é maior.

Talvez o mais interessante para a responsabilidade civil concernente ao direito securitário sejam as propostas doutrinárias e normativas pela criação de seguros obrigatórios ou fundos públicos. A gestão do risco social em cidades e rodovias inteligentes, onde haverá compartilhamento maior da propriedade e da geração de custos e benefícios, tem convidado várias propostas de socialização dos riscos na forma de seguros obrigatórios (SCHELLEKENS, 2015). Aliado a isso, o receio generalizado causado pela mitificação da capacidade da inteligência artificial, que comentamos na *Seção 4.1*, tem gerado propostas como fundos para pesquisas de segurança e para a indenização de vítimas (ex.: proposta do Parlamento Europeu, discutida na *Seção 5.1*).

Nesse quesito, o Brasil se encontra em uma posição interessante no cenário internacional. Isso porque já possuímos uma experiência nacional bem consolidada de seguro obrigatório objetivamente responsabilizado. Na verdade, tomando as regras brasileiras atuais de responsabilidade do seguro obrigatório (ver *Capítulo 2*), que é do tipo objetiva, podemos depreender que qualquer acidente envolvendo carro autônomo que ocorra hoje nas vias abertas do País já está coberto pelo DPVAT, devendo a vítima ser objetivamente indenizada caso sofra os danos garantidos pelo seguro. É uma situação de inusitada vanguarda. Aqui, portanto, a reflexão brasileira talvez tenha conformação muito mais reformista que lá fora. Assim, à medida que os carros autônomos forem introduzidos no País, considerando a mudança no perfil de risco da frota, será importante pensar em eventuais reajustes do sistema de seguro obrigatório. Vale também aproveitar o *momentum* da transição regulatória e considerar se as hipóteses de cobertura permanecerão adequadas ou se será desejável alterá-las. Por fim, será proveitoso observar o surgimento de outras experiências de seguro obrigatório no plano internacional para, então, cotejar seu desempenho com a experiência brasileira, tentando incorporar de outros sistemas aspectos que poderão ser considerados positivos, aproveitáveis e harmonizáveis com o nosso sistema.

## CAPÍTULO 5 •

### PROPOSTAS DE SOLUÇÃO E REGULAÇÃO

Buscamos, no *Capítulo 2*, lembrar os fundamentos da responsabilidade civil contemporânea no trânsito brasileiro e, no *Capítulo 3*, expor o funcionamento da tecnologia de carros sem motoristas. No *Capítulo 4*, mapeamos alguns dos principais desafios que a introdução dos veículos autônomos no território brasileiro pode oferecer. Ciente dos desafios jurídicos e regulatórios a serem enfrentados, buscaremos neste capítulo algumas propostas de soluções e de regulação para esses problemas e para que se viabilize de fato a presença de veículos autônomos inteligentes no Brasil. A primeira seção será dedicada a comentar a Resolução do Parlamento Europeu com Recomendações de Direito Civil sobre Robótica [2015/2103 (INL)]. Em seguida, apresentaremos nossas conclusões sobre a regulação da IA, com base no estudo do cenário de regulação de veículos autônomos. A partir daí, seguiremos com propostas de regulação ou implementação de práticas, processos, ferramentas e controles, a fim de que seja possível a criação de um mercado brasileiro de veículos autônomos.

#### 5.1 A Resolução do Parlamento Europeu com Recomendações de Direito Civil sobre Robótica [2015/2103 (INL)]

Associados aos da IA, os avanços tecnológicos no campo da robótica têm proporcionado o aumento da expectativa, por vezes fantasiosa, sobre a possibilidade de construir máquinas inteligentes, principalmente com características humanoides.

O avanço da inclusão digital e da experimentação maior de mais camadas da população mundial com a internet, em especial com as funcionalidades proporcionadas por algoritmos inteligentes implementados por grandes empresas em redes sociais, mecanismos de busca, ou *bots* de relacionamento e ajuda, tem aumentado a expectativa do poder proporcionado pelos algoritmos.

Ainda no contexto das aplicações voltadas à internet, experimentadas pelo mundo na última década, em especial com a criação de uma verdadeira economia baseada nos dados pessoais dos usuários, na qual o grande valor comercializado são informações sobre os usuários da internet, seus hábitos, sua localização, suas preferências, seus hábitos de consumo, começou-se a

gerar a preocupação com a necessidade de criar algum tipo de regulação sobre essas entidades com tanto conhecimento e capacidade, os algoritmos. Viu-se isso em todo o debate sobre as leis de proteção de dados e privacidade, e continua nos debates sobre os limites e as aplicações da IA.

Certas do avanço do uso das tecnologias no dia a dia das pessoas e de certo descompasso normativo do Direito, as comunidades acadêmicas internacionais vêm debatendo a necessidade de regulação e de criações normativas a fim de garantir algum privilégio aos humanos nessa relação, ou seja, que o avanço tecnológico seja voltado ao aumento do bem-estar humano.

O Parlamento Europeu editou resolução a fim de delinear princípios e fixar algumas orientações acerca da abordagem normativo-legislativa dos temas vinculados ao Direito Civil sobre a Robótica (UNIÃO EUROPEIA, 2017). Neste estudo, entende-se a Robótica não apenas como os construtos humanoides, mas como a aplicação mais geral de algoritmos inteligentes e autônomos em diversos cenários de utilização para os humanos, entre eles o de veículos inteligentes.<sup>34</sup>

Dentre as premissas apresentadas pela resolução, podemos destacar a preocupação com o não freio à inovação, o benefício social da aprendizagem automática, a necessidade de garantia à não discriminação, a inteligibilidade dos processos decisórios e a transparência dos algoritmos, a distribuição da responsabilidade civil ao longo da cadeia de desenvolvimento, entre outras.

Ainda estabelecendo um diagnóstico, disposto em seus considerandos, sobre a questão da responsabilidade, a resolução destaca a importância de duas variáveis: autonomia e cognição. Quanto à autonomia, capacidade de tomar decisões independentes, fixa a premissa de que quanto maior a autonomia, menos poderão ser considerados instrumentos nas mãos de outros intervenientes (fabricantes, operador, proprietário, utilizador, etc.). Quanto à cognição, refere-se à capacidade de aprender com a experiência.

Ainda tratando do diagnóstico quanto à questão da responsabilidade, a resolução pondera sobre a insuficiência do quadro jurídico para tratar as novas situações advindas do uso de um robô autônomo, principalmente em face da dificuldade de encontrar a parte responsável para prestar indenização ou para exigir dela reparo a danos causados. Constata-se, também, a insuficiência no domínio da responsabilidade contratual. Reforça que o atual

---

34 As considerações traçadas sobre a resolução estão restritas aos aspectos associados ou relacionados ao uso e ao tráfego de veículos autônomos.

quadro jurídico não seria suficiente para abranger os danos provocados pela nova geração de robôs, na medida em que os robôs podem ser dotados de capacidades adaptativas e de aprendizagem que integram certo grau de imprevisibilidade em seu comportamento, uma vez que aprendem de forma autônoma com sua experiência própria variável e interagem com seu ambiente de modo único e imprevisível.

Em seus princípios gerais, a resolução considera que deveria ser introduzido um sistema abrangente de registro de robôs avançados. Para tanto, faz-se necessário definir critérios para a classificação de robôs que deveriam ser registrados. Propõe, ainda, que esse sistema de registro seja gerido por uma Agência da UE para a Robótica e Inteligência Artificial.

A criação de uma agência permitiria reforçar a cooperação entre os Estados-Membros e a Comissão Europeia a fim de garantir a aplicação de regras transnacionais. Permitiria o aconselhamento técnico, ético e regulamentar especializado no apoio de intervenientes públicos relevantes. Serviria, ainda, a agência para a padronização e a divulgação de melhores práticas.

Nas questões relacionadas ao presente estudo, a resolução trata ainda de mais dois temas: os meios de transporte autônomos e o tratamento da responsabilidade civil.

Sobre os veículos autônomos, considera que o setor carece urgentemente de normas eficazes na UE e no mundo que garantam o desenvolvimento transfronteiriço de veículos autônomos e automatizados, a fim de explorar a plenitude de seu potencial; chama a atenção para a importância do tempo de reação do condutor no caso de ativação imprevista, sendo necessário que se estabeleçam valores realistas para as questões de segurança e responsabilidade; considera que a transição para veículos autônomos terá impacto em aspectos de responsabilidade civil (imputabilidade e seguros), segurança rodoviária, todos os temas ligados ao ambiente, acesso à informação e privacidade, infraestrutura de TIC e emprego; salienta a necessidade de investimentos substanciais em infraestrutura rodoviária, energética e de TIC; em especial, destaca a importância dos sistemas de GPS europeus, Galileo e Egnus, e exorta à necessidade de sua últimação, com o lançamento de satélites necessários a sua finalização.

Acerca da necessidade de testes em cenários da vida real, realça que o teste é essencial para identificar e avaliar os riscos que podem implicar, bem como o respectivo desenvolvimento tecnológico para além de uma fase de laboratório puramente experimental; sublinha, a esse respeito, que o teste de ro-

bôs em cenários da vida real, em especial em cidades e em estradas, põe uma série de questões, incluindo obstáculos que desaceleram a evolução dessas fases de testes, e exige uma estratégia e um mecanismo de supervisão eficazes.

Sobre a responsabilidade civil, em virtude de sua ligação central ao tema da presente pesquisa, organizaremos o relato das propostas em subseção específica, a seguir.

### *5.1.1 Propostas da resolução sobre a responsabilidade civil*

A resolução observa que o desenvolvimento da tecnologia robótica exigirá melhor compreensão das relações de interdependência entre humanos e robôs, quanto a sua previsibilidade e direcionalidade, uma vez que essa compreensão é fundamental para determinar as informações que devem ser compartilhadas.

Solicita que a Comissão Europeia apresente proposta de instrumento legislativo sobre questões jurídicas relacionadas ao desenvolvimento e à utilização da robótica previsível para os próximos 10 ou 15 anos. Considera, ainda, que essa proposta tenha avaliação profunda que determine se a abordagem a ser aplicada deve ser a da responsabilidade objetiva ou a da gestão de riscos.

Considera que, em princípio, a responsabilidade deve ser proporcionada em relação ao nível efetivo de instruções dadas ao robô e ao nível de sua autonomia, de modo que quanto maior for sua capacidade de aprendizagem ou de autonomia, e quanto mais longa for a “educação” do robô, maior deve ser a responsabilidade do professor.

Destaca que uma possível solução para a complexidade de se atribuir a responsabilidade por danos causados por um robô pode ser a criação de um regime de seguros obrigatórios, com a especificidade de que se deveriam levar em conta todos os elementos potenciais da cadeia de responsabilidade.

Por fim, provoca a Comissão Europeia a analisar na avaliação de impacto da futura proposta legislativa todas as soluções jurídicas possíveis, tais como:

- a) criação de um regime de seguros obrigatórios;
- b) garantia de que os fundos de compensação não sirvam apenas para assegurar uma compensação no caso de os danos causados por um robô não serem abrangidos por um seguro;
- c) permissão para que o fabricante, o programador, o proprietário ou o utilizador se beneficiem de responsabilidade limitada se contribuírem para

- um fundo de compensação ou se subscreverem conjuntamente um seguro para garantir a indenização quando o dano for causado por um robô;
- d) decisão quanto à criação de um fundo geral para todos os robôs autônomos inteligentes ou quanto à criação de um fundo individual para toda e qualquer categoria de robôs e quanto à contribuição que deve ser paga a título de taxa;
  - e) garantia de que a ligação entre o robô e o seu fundo seja patente pelo número de registro individual, constante de um registro específico na UE, de forma que qualquer pessoa que interaja com o robô seja informada da natureza do fundo, dos limites das respectivas responsabilidades em casos de danos patrimoniais, dos nomes e dos cargos dos contribuidores;
  - f) criação de um estatuto jurídico específico para os robôs a longo prazo, de modo que, pelo menos, os robôs autônomos mais sofisticados possam ser determinados como detentores de estatutos de pessoas eletrônicas responsáveis por sanar quaisquer danos que possam causar.

### 5.1.2 Comentários à resolução

Segundo a classificação proposta por Pagallo (2013), vista na *Seção 4.1*, podemos observar que a visão expressa na resolução adere à proposta da “nova responsabilidade forte”, uma vez que prevê a criação, ainda que futura e para casos especiais, de personalidade jurídica aos robôs e a criação de regimes securitários para o pagamento de indenizações em caso de dano.

Conforme também adiantamos na *Seção 4.1*, a proposta da criação da personalidade jurídica dos robôs, como mostra Pagallo, não é unanimidade na doutrina, sendo uma de três correntes por ele identificadas. Na verdade, entendemos que é uma proposta que tende a se basear em usos imaginados e ainda ficcionais da IA. É necessário que a regulação amadureça e que as experiências iniciais sejam avaliadas.

Ao estabelecer um diagnóstico sobre a questão da responsabilidade, a resolução pondera quanto à importância da autonomia e da cognição. Nesse caso, a crítica que fazemos é que as preocupações quanto às duas variáveis estão bastante associadas a como tais características se desenvolvem nos seres humanos. A capacidade de aprendizado com a experiência e a capacidade de tomar decisões de forma independente estão vinculadas a um organismo que aprende de forma genérica e o tempo todo, com um sistema de motivações independentes.

Não se pode afirmar o mesmo sobre o processo de construção de um algoritmo inteligente. Conforme visto na *Subseção 3.2.1*, o comportamento inteligente de uma rede neural é determinado por um processo experimental de treinamento e fruto de uma escolha específica do desenvolvedor do seu algoritmo de aprendizado. Assim, os momentos de aprendizado e de prestação do seu serviço são distintos. Atualmente, a realidade das equipes de desenvolvimento não é a criação de um algoritmo inteligente de uso genérico e aprendizado em tempo integral, mas o uso de algoritmos que ofereçam soluções ótimas, ou subótimas, a problemas específicos.<sup>35</sup>

A preocupação do legislador europeu com a assimetria de informação e com as potencialidades do aprendizado em tempo integral dos algoritmos, ali chamados de robôs, é verificada novamente quando ele argui que a capacidade de aprendizado automático, associada a um ambiente de experimentação variável, pode levar à imprevisibilidade de suas ações.

De fato, a ser considerada de forma genérica, essa é a mesma motivação por trás da pergunta de pesquisa que origina esta obra. Contudo, a solução apontada pela própria resolução mais à frente caminha em um sentido, a nosso ver, mais realista de criar um mecanismo de rastreabilidade do processo decisório, coisa que propomos como parte das soluções regulatórias a serem aplicadas (*Seção 5.5*), motivadas além dessa própria resolução pelas experiências equivalentes na indústria aeronáutica.

A proposta de criação de personalidade jurídica para robôs parece coadunar com a intenção da resolução de criar um arcabouço de governança amplo da IA. Isso porque, segundo essa ótica, visto que um dos principais desafios da introdução da IA seria a suposta capacidade humanoide de autonomia e vontade dos robôs, haveria então um grande problema unificador da IA que deveria ser endereçado em conjunto. Assim, por mais que a resolução traga pontualmente diretrizes setoriais específicas, tais como para o setor médico e o setor de veículos, ela também é abundante em propostas unificadoras, exigindo, por exemplo, o registro centralizado de “robôs avançados” e a criação de uma agência reguladora europeia central.

---

35 Não traremos ao debate, por não consideramos uma realidade prática na literatura científica identificada no desenvolvimento de veículos autônomos, o chamado “algoritmo mestre” – conforme definido pelo professor de Ciência da Computação da Universidade de Washington Pedro Domingos –, que ainda se coloca como área de pesquisa que precisa ser amadurecida na comunidade científica de IA.

Por um lado, não achamos prejudicial a existência de princípios regulatórios em comum a serem aplicados à relação ser humano-máquina quando isso for embasado numa compreensão realista da ainda limitada capacidade das máquinas. Também achamos produtiva a formulação de políticas e programas unificados de pesquisa, desenvolvimento e investimento em IA de modo a aproveitar as sinergias de inovação. Entretanto, é preciso compreender que, além de ser ainda fictício o principal problema que embasa a centralização regulatória da resolução, esta tem a declarada missão de se prestar à promoção da integração, da consolidação e da competitividade do mercado comum europeu e sua unidade política, superando dificuldades que o Brasil, como país unificado, não possui. Portanto, recomendamos colocar a tendência centralizadora da resolução em seu devido contexto quando formos pensar em regulações para o Brasil. Conforme discutimos, os desafios setoriais específicos serão muito pronunciados e não poderão ser resolvidos por princípios generalizantes. Essa conclusão será parte constitutiva da linha de propostas mais concretas que passaremos a fazer em todo este capítulo.

Outro ponto a ser considerado nessa questão está na seleção natural imposta pelo próprio consumidor ou usuário desse robô. De fato, há alguma imprevisibilidade nas respostas, fruto de um processo de treinamento experimental baseado em dados. Se tais algoritmos, com capacidade de aprendizagem automática e genérica, começarem a fornecer respostas inadequadas ou insuficientes para seu consumidor ou usuário, isso provocará naturalmente a diminuição em seu uso. Assim, poderíamos até falar em uma espécie de seleção natural nesse cenário genérico.

Contudo, é de se esperar que melhores resultados sejam oferecidos por robôs ou algoritmos que passem por um treinamento específico e cujo desempenho em respostas tenha passado por um processo de validação e um desempenho mínimo tenha sido aferido. A esse desempenho mínimo podem estar vinculados requisitos de segurança, qualidade e garantia. Assim, ao pensarmos em aplicações específicas, como a de veículos autônomos, não se imagina uma inteligência artificial genérica que foi aprendendo novas atribuições a partir, apenas, da interação com seu ambiente, mas, sim, uma inteligência específica, fruto de treinamento específico conduzido por especialistas a fim de entregar valor dentro de uma arquitetura de software mais genérica.

Ao analisar, entretanto, o contexto específico dos veículos autônomos, identificamos um risco alto à segurança, à operação dos veículos e a qualquer controle que se queira estabelecer a fim de viabilizar algum tipo de ras-

tratamento de responsabilidade, que, conforme mencionamos, Peter e Norvig (2013) chamam de *aprendizagem on-line*. Conforme abordamos na *Seção 5.6*, entendemos inadequada para o cenário de veículos autônomos a possibilidade de que veículos aprendam com a experiência prática e modifiquem as competências iniciais introduzidas por seu fabricante ou autorizado, sem que sejam submetidos a novo processo de validação e certificação.

Essa conclusão específica para o setor de veículos autônomos poderia ser levada ao debate mais geral, ou seja, em vez de liberar a possibilidade de aprendizado on-line, pelo menos em aplicações críticas, por que não vincular os veículos a um processo controlado de controle de versão e certificação? Naturalmente, o nível de exigência sobre o processo de certificação pode se dar em razão do nível de criticidade da aplicação: quanto mais riscos oferecer à vida humana, maior a necessidade de controle por parte do Estado, quanto menor, maior a aplicabilidade de modelos de autocertificação.

A introdução de um sistema abrangente de registro de robôs avançados *prima facie* atende à necessidade de se ter gestão sobre a disponibilidade de IA e sobre seu impacto social. Mais especificamente, considerando as necessidades de indenização em caso de danos e os diversos cenários de uso, busca criar uma base de dados de modo a facilitar o rastreamento das informações de um robô e de seus responsáveis. A motivação aqui exposta, com a qual concordamos, também é vista nas propostas que serão abordadas nas *Seções 5.5, 5.7 e 5.8*.

Ao abordar questões específicas de veículos autônomos, a resolução trata principalmente das preocupações com as questões de infraestrutura, que foram por nós colocadas como desafio na *Seção 4.4* e que voltam a ser abordadas sob a ótica de propostas na *Seção 5.9*. De forma geral, o que se observa no Brasil, assim como na UE, é a necessidade de investimentos em infraestrutura rodoviária e de comunicação para que se desenvolva aqui, e não apenas na UE ou nos EUA, parte da cadeia produtiva, além do próprio mercado consumidor, de veículos autônomos.

A proposta quanto à criação de seguros obrigatórios ou fundos de compensação parece ser um caminho interessante de forma geral. A entrada na discussão de empresas seguradoras tende a gerar debates importantes para que seja possível a criação de modelos de riscos. A possibilidade de securitização das ações de desenvolvimento e testes, além da própria utilização comercial, tende a ampliar o investimento em inovação, desde que o modelo regulatório seja estabelecido e se dê segurança jurídica à atividade.

Nesse sentido, a geração de informação no processo de desenvolvimento, por meio dos sistemas de registro de robôs, com o registro de uma cadeia de responsabilidade, tende a gerar facilitadores para o oferecimento de apólices de seguro. Contudo, como tratado na *Seção 4.6*, é preciso que se avalie o nível de acesso a informações que empresas de seguro podem ter, a bem de preservar a privacidade dos usuários de veículos autônomos.

A sugestão de criação de seguros obrigatórios específicos para robôs pode ser interessante, e tratamos dela na *Seção 4.6*.

## 5.2 Regulação da Inteligência Artificial: abordagem setorial e criação de regimes jurídicos específicos

Conforme adiantamos na *Seção 4.1*, considerando que os veículos autônomos inteligentes são um caso particular de aplicação de algoritmos de IA, a primeira conclusão que apresentamos é a de que talvez o melhor caminho não seja o de atribuir um tipo de regime de responsabilidade civil a um algoritmo de IA, deslocando sua responsabilidade para o fabricante, ou para o usuário, ou até para esse mesmo algoritmo<sup>36</sup>.

As realidades jurídicas são específicas de cada área de relacionamento social, assim, um acidente de trabalho causado por uma máquina inteligente teria um arquétipo analítico diferenciado de um caso que envolva uma morte ou apenas um contrato de transporte, ou a sugestão de uma jurisprudência equivocada.<sup>37</sup>

O motivo básico para isso está no fato de que cada cenário gera envolvimento ou expectativas de conduta de forma diferenciada para cada ator envolvido, não sendo possível *a priori*, então, afastar a aplicação da responsabilidade subjetiva e da teoria da culpa apenas por se tratar do uso de um algoritmo inteligente e da falta de domínio ou compreensão da tecnologia por seu usuário.

Dessa forma, considerando que os contextos de aplicação da IA são específicos e não genéricos e que podem ensejar interpretações de respon-

---

36 Considera-se, neste caso, a hipótese em discussão no Parlamento Europeu sobre a criação da pessoa eletrônica ou robótica.

37 O Poder Judiciário tem utilizado agentes inteligentes para auxiliar seus processos de trabalho. O Supremo Tribunal Federal (STF) noticiou em maio de 2018 o lançamento do VICTOR, com a finalidade de ler todos os recursos extraordinários que sobem para o tribunal e identificar quais estão vinculados a determinados temas de repercussão geral (BRASIL, 2018).

sabilidade civil distinta, somado ao fato, conforme visto no *Capítulo 3*, de que as implementações de redes neurais artificiais, sua arquitetura, número de camadas, algoritmos de treinamento, são específicas para cada problema, o caminho regulatório mais adequado parece ser a utilização de regimes jurídicos específicos e setoriais.

### 5.3 A adequação legal e regulatória brasileira para o tráfego de carros autônomos

Conforme visto nos *Capítulos 2 e 4*, a legislação brasileira de trânsito foi criada em um contexto no qual não existiam carros autônomos, portanto, necessita de adequações a fim de que a utilização de veículos autônomos nos quais o motorista não esteja no controle do veículo seja possível e segura. Em regra, o motorista em território nacional é punido por utilizar equipamentos, como o telefone celular, que tirem a atenção de sua tarefa de guiar o veículo em segurança, ou por se apresentar em condições físicas e psíquicas que não permitem a condução em segurança, como dirigir embriagado.

Conforme abordado na *Seção 4.2*, a *primeira questão urgente* apresenta o cenário de insegurança jurídica para o tráfego de veículos autônomos. Há a necessidade de manifestação do Estado brasileiro a fim de que a legislação vigente, bem como a regulação que lhe dá suporte, seja explícita na permissão do uso de tecnologias que deem assistência ou que automatizem a tarefa de direção.

Para tanto, o Congresso Nacional deve ser instado a ratificar a emenda feita à Convenção de Viena para que carros autônomos sejam considerados lícitos no Brasil.

O cenário de insegurança jurídica é especialmente preocupante para os projetos de pesquisa e desenvolvimento já conduzidos em território nacional, conforme visto na *terceira questão urgente da Seção 4.2*, seja do ponto de vista da responsabilização civil em caso de algum acidente, seja da validade das coberturas de seguros atuais, seja da proibição administrativa na emissão de autorizações de teste por autoridades incompetentes.

É preciso considerar a importância das experiências de pesquisa nacionais, pois por meio delas é possível, mais facilmente, haver uma comunidade maior, incluindo representantes do Estado que dominem as informações e as arquiteturas de implementação. Sem contar o potencial econômico da utilização de tais tecnologias em setores especializados como agricultura ou outros modais de transporte.

Considerando que tais iniciativas já se encontram em curso, com suporte e financiamento de programas de pesquisa do governo federal,<sup>38</sup> há quase uma década, e que também serão necessárias ações de pesquisa e testes para adequações de veículos desenvolvidos fora do País às condições de tráfego nacionais, faz-se necessário ter uma regulação a curto prazo voltada para as atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, criando regras próprias, a fim de dar a elas segurança jurídica, que será abordado na *Subseção 5.3.1*. Na *Subseção 5.3.2* e ao longo de todo o restante do capítulo, traremos sugestões a serem aplicadas a médio e a longo prazo, buscando não a regulação das pesquisas, mas das próprias atividades comerciais e de consumo.

### ***5.3.1 Regulação de curto prazo considerando o ambiente de pesquisa e desenvolvimento em veículos autônomos***

Considerando a existência de projetos de P&D em veículos autônomos e de relatos de testes em vias de trânsito urbano e intermunicipal, é preciso dar legalidade e segurança jurídica a essas iniciativas, a fim de que pesquisadores e autoridades administrativas locais estejam seguros e respaldados acerca dos limites de seus atos e da forma a ser utilizada.

O desenvolvimento de carros autônomos no País não apenas coloca o Brasil na vanguarda mundial nas pesquisas, mas permite que essas plataformas, suas restrições e seus riscos sejam melhor conhecidos para que se crie uma estrutura regulatória que garanta segurança aos usuários, e também a apropriação dos benefícios, como a expectativa de redução do nível de acidentes, redução nos custos de transporte, melhora das condições de vida e trabalho de motoristas, otimização de custos logísticos, aumento de produtividade na indústria agropecuária, redução do risco de operação em ambientes insalubres, entre diversos outros possíveis de se enumerar.

Dessa forma, o primeiro passo a se buscar quanto a alteração legislativa e regulação é criar um cenário distinto para essas atividades, de forma que se mantenha a existência de uma segurança sistêmica. Assim, é necessário que, antes de sair às ruas, seja garantido que o carro recebeu treinamento suficiente e que foram feitos testes e simulações nas condições do tráfego

---

38 O Projeto CaRINA contou com financiamento do Programa INCT Sec, criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia em parceria com o CNPq e com fundos de amparo à pesquisa de alguns estados a fim de estimular o desenvolvimento de pesquisas científicas, tecnológicas e de inovação na área de Sistemas Embarcados Críticos.

e no trajeto que se quer testar em condições reais. Por exemplo, o veículo possui treinamento para trafegar em uma via de mão dupla? Se não possui, não pode haver uma via com essa característica no trajeto no qual o carro trafegará em modo autônomo.

Regulação específica para a parte de testes deverá tratar ainda da existência de apólices de seguro específicas, uma vez que as modificações feitas no veículo, tanto de natureza mecânica quanto de natureza eletrônica (hardware e software), podem ser motivo de recusas por parte de seguradora em segurar o veículo ou pagar indenizações em caso de algum sinistro.

Observa-se, assim, que cada teste a ser executado em uma via pública possui objetivos específicos, sendo mais conveniente que a autoridade de trânsito autorize de forma específica a execução dos testes, ou por meio da autorização apenas de uma missão, ou para escopos e finalidades restritas, em locais e horários predefinidos, e cuja execução gere ao final as evidências de seu cumprimento.

O que se busca, portanto, é a existência de um contexto limitado e restrito no qual a autoridade de trânsito tenha condições de avaliar os riscos, emitindo autorização motivada na qual trata dos riscos envolvidos. Dessa forma, ficaria a autoridade de trânsito a emitir um juízo técnico sobre as condições de realização dos testes.

Assim, um pacote de medidas regulatórias e ações executivas seria necessário a curto prazo a fim de endereçar os desafios urgentes localizados na *Seção 4.2* e que abrangia:

- Garantia da legalidade da direção assistida, com base na nova emenda à Convenção de Viena. Nesse caso, o Congresso Nacional deve ser provocado a internalizar a emenda por meio de decreto legislativo, que possui tramitação legislativa mais simples em relação a um projeto de lei.
- A fim de mitigar riscos, durante o processo de pesquisa e desenvolvimento, admitir-se-iam testes de veículos autônomos em vias urbanas, mediante a supervisão de motorista humano. A supervisão pode ser realizada por motorista sentado no próprio banco do motorista, ou sentado no banco do carona, desde que os controles que permitam guiar o veículo possam ser espelhados, demandando alterações estruturais nos veículos de testes.

- Testes de veículos autônomos fora das vias abertas de circulação poderiam ser autorizados sem supervisão de motorista, mas para veículos voltados a atividades específicas como a agroindústria.
- Criação de uma categoria especial de habilitação para veículos autônomos de testes, a fim de que sejam definidos critérios e habilidades específicas a serem exigidos dos motoristas supervisores que conduzirem os testes. Neste caso, não se confunde com eventual nova exigência de habilitação para guiar veículos autônomos já certificados. Um possível caminho para isto seria a edição de resolução do Contran adicionando uma subcategoria à categoria B, tal como fez a Resolução Contran n. 168/2004. Assim, a resolução criaria apenas uma categoria especial dentro da faixa de tamanho já existente e seria, ao mesmo tempo, mais rápida e mais técnica, sem necessitar de processo legislativo. Permitiria também a criação de um programa de ensino de protocolos específicos para carro autônomo.
- Incentivos à criação de bases de dados públicas para pesquisa e desenvolvimento, a fim de diminuir barreiras de entrada no mercado brasileiro para novos investidores.
- Os projetos de pesquisa e desenvolvimento ou de testes devem ser submetidos a um sistema de avaliação de risco, à semelhança do que prevê a Resolução do Parlamento Europeu.
- O aumento das garantias por meio da criação de apólices de seguros específicas ou de fundo para indenização especificamente para fomentar as atividades de pesquisa e desenvolvimento.
- Criação de mecanismo que permita ao município ou ao órgão de trânsito local a coordenação e a emissão de autorizações específicas para a realização de testes em vias de trânsito local, ou de trecho urbano de rodovias.

### ***5.3.2 Criação de uma regulação a médio e a longo prazo voltada para o mercado de consumo dos veículos autônomos***

Considerando que a abordagem de criação de uma regulação mais simplificada para viabilizar, incentivar e dar regularidade às atividades de P&D já realizadas seria mais simples de ser alcançada, por isso sua proposta é feita

em separado, faz-se necessário desenhar uma regulação para um mercado de veículos autônomos que são entregues ao consumidor, aumentando e completando as exigências regulatórias.

Assim, as propostas e as necessidades doravante discutidas consideram o cenário de uma regulação voltada ao pleno uso dos veículos autônomos inteligentes no mercado consumidor.

Inicialmente, é necessário haver dados sobre condições de tráfego brasileiras, vias, sinalização, normas, cultura. São esses dados que treinarão as redes neurais utilizadas nos carros para reconhecer as especificidades das nossas rodovias. Permitir o tráfego de um carro autônomo, de qualquer fabricante que seja, sem o devido treinamento é risco certo de acidentes e fatalidades.<sup>39</sup>

Outro ponto importante é a criação de um processo de certificação específico e de autorizações para o tráfego de veículos autônomos, seja para testes e pesquisa, seja para o uso comercial.<sup>40</sup> Afinal, é preciso haver garantias mínimas para a sociedade de que o risco oferecido por essas máquinas seja equivalente ao dos veículos não autônomos.

A norma ISO 26262 – *Road vehicles – Functional safety* trata da segurança funcional de veículos automotivos e é utilizada como padrão de segurança pelos fabricantes do setor. Enquanto o setor ainda discute a criação de regulação e padrões de segurança específicos para veículos autônomos, os parâmetros definidos nessa norma continuam sendo seguidos. Assim, o cenário atual é de que os veículos autônomos, para serem certificados, devem apresentar o mesmo nível de segurança funcional dos veículos não autônomos.

Dessa forma, mantendo-se pelo menos o mesmo nível de riscos, os benefícios sociais tendem a ser muito maiores do que os riscos oferecidos por seu uso, conforme defendem Jansen e Chan (2017):

Embora possamos afirmar que a legislação para CAVs está atrasada, o consenso geral que encontramos nas orientações e regulamentos que são divulgados é que os benefícios sociais dos CAVs superam os riscos da sua introdução.<sup>41</sup>

---

39 Essa questão volta a ser abordada na *Seção 5.5*.

40 Essa questão volta a ser abordada na *Seção 5.5*.

41 Tradução livre. No original: “*Whilst we might state that legislation for CAVs is lagging behind, the general consensus that we find in the guidance and regulations which are released, is that the societal benefits of CAVs outweigh the risks of their introduction.*” (JANSEN; CHAN, 2017, p. 5).

## 5.4 Existência e padronização de *datalogger*

A hipótese inicial da pesquisa era de que a fim de dar maior transparência ao processo decisório de algoritmo inteligente seria necessário fazer uma reengenharia em seu código caso implementado por técnicas simbólicas ou determinísticas, ou criar um meio de extrair conhecimento de uma rede neural, para que fosse possível determinar o ponto de uma tomada de decisão eventualmente equivocada no caso de um acidente. Contudo, as conclusões mostraram a existência de um caminho mais fácil tecnicamente de ser seguido, e que já é utilizado em outras indústrias: a remontagem em ambiente simulado da linha do tempo de dados gravados pelo carro sobre o que foi percebido por seus sensores e das saídas (em tese, decisões) dos módulos de controle e planejamento.

De forma análoga, isso já ocorre na indústria aeronáutica, em que os estados sobre as condições dinâmicas de um avião em voo são gravados em uma caixa-preta (cuja cor real é laranja). Seus registros são importantes para simulação das condições que antecederam um eventual acidente.

Atualmente, embora descrito nas arquiteturas de carros autônomos, não há padronização sobre o que deve ser gravado, nem dos formatos de gravação, nem da estrutura de hardware a ser utilizada para gravar e que possa preservar os dados em caso de um acidente. Contudo, já existem iniciativas a fim de regular tal necessidade. O governo da Alemanha, a fim de criar quadro regulatório que permita testes em larga escala de carros autônomos, editou regulamentação que trata, entre outros aspectos, de requisitos para gravação de dados (JANSEN; CHAN, 2017, p. 4).

Acrescente-se a esse cenário a falta de normatização sobre um processo de perícia e investigação de acidentes e incidentes. Imperioso observar que no caso do acidente fatal com o carro da Uber (CARRO AUTÔNOMO DA UBER..., 2018) as evidências e os dados gravados ficaram sob responsabilidade da empresa, uma vez que quase que imediatamente a empresa divulgou vídeo da câmera do carro de apenas alguns segundos antes do acidente. Naturalmente, sendo o fabricante o detentor da tecnologia, há a possibilidade de manipulação das evidências a fim de induzir a uma determinada conclusão.

Nesse caso, surge como modelo mais uma vez a indústria da aviação, que, em eventuais acidentes, envolve o fabricante do avião e as autoridades administrativas do país no qual ocorreu o acidente.

Assim como no caso de um acidente de trânsito, em um acidente aéreo há a concorrência das três esferas de responsabilização: administrativa, civil e penal. Na esfera administrativa, a investigação de um acidente aéreo é de responsabilidade do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA),<sup>42</sup> órgão central do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SISPAER),<sup>43</sup> cuja finalidade é a prevenção de futuros acidentes por meio da investigação de fatores que tenham contribuído para o evento investigado.<sup>44</sup> Contudo, nova redação foi introduzida pela Lei n. 12.970/2014, que, apesar de garantir a finalidade essencialmente preventiva da investigação, assegura a possibilidade da colaboração com a investigação criminal e o acesso das informações à Polícia Federal e ao Ministério Público Federal. Aliado a isso, garante também a preservação do local e dos vestígios do acidente.

Assim, embora o processo pericial investigativo empreendido pelas autoridades, com eventual auxílio do fabricante, não tenha o objetivo primário de apurar culpa ou responsabilidade, o sistema jurídico brasileiro permite a comunicação da investigação para a esfera criminal, a fim de apurar falta penal de algum agente.

Contudo, é possível observar que a lei garante a preservação do local e dos vestígios às autoridades, e a atuação do fabricante dar-se-á em colaboração com a autoridade administrativa ou policial.

Assim, é preciso haver proposta legislativa que considere a obrigação da existência de uma caixa-preta na qual funcione de forma protegida um *datalogger* que grave um conjunto de dados mínimo, por meio do qual seja possível a recriação do ambiente de simulação, das condições e dos momentos anteriores. Permitindo, assim, analisar as decisões e suas consequências para a ocorrência de um acidente.

## 5.5 Learning logger

A gravação dos dados em tempo real em uma caixa-preta, com a finalidade de apurar os pontos de falha de componentes do veículo autônomo

---

42 Decreto n. 87.249, de 7 de junho de 1982.

43 Art. 25, V, do Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA) – Lei n. 7.565, de 19 de dezembro de 1986.

44 Art. 86-A do CBA.

inteligente e da recriação da linha do tempo e de um modelo do cenário do acidente, não permite, em princípio, saber o responsável por dar o treinamento ou por programar os componentes inteligentes do veículo.

Assim, a criação de um registro de aprendizado (*learning logger*) faz-se necessária a fim de dar transparência ao processo de agregação de valor e capacidade aos algoritmos inteligentes.

Outra questão importante, considerando as capacidades de aprendizado on-line de algoritmos inteligentes, é haver proibição explícita de que novas competências, capacidades (*capabilities*) ou funcionalidades sejam disponibilizadas sem que tenham passado por processos de treinamento e validação, internos a cada fabricante, ou seja, com garantia dada pelo fabricante, e certificados por alguma estrutura do Estado, ou delegada por este, sobre o desempenho daqueles algoritmos em face de diversos cenários de tráfego com dados distintos dos dados de treinamento. A *Seção 5.6* trará maior detalhamento dessa proposta.

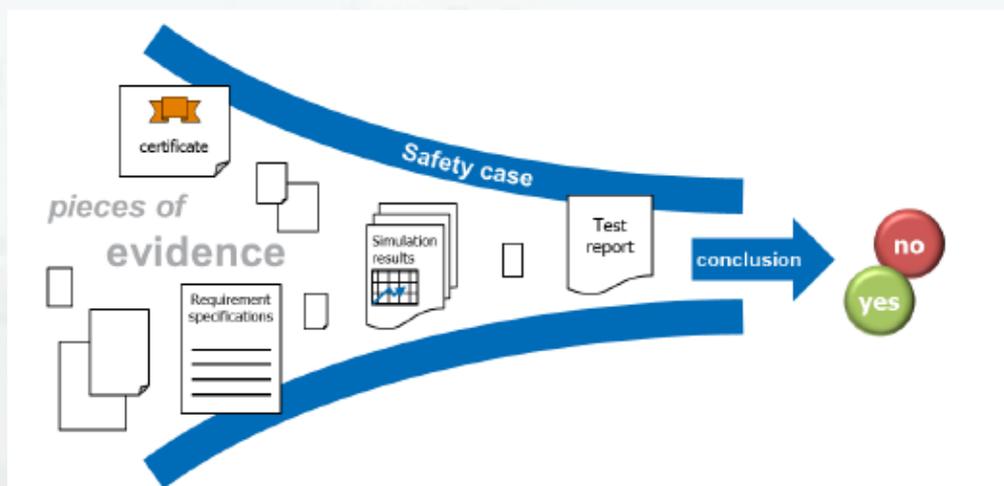
- **Processo de treinamento, validação e certificação**

O treinamento de uma rede neural é a forma pela qual se dá o aprendizado de uma determinada competência ou de um comportamento, como o reconhecimento de obstáculos ou de sinais de trânsito ou de intenções de comportamento por parte de um pedestre. Contudo, conforme visto na *Seção 3.6*, um carro autônomo é formado por diversos módulos com tecnologias diferentes de implementação, algumas provenientes da inteligência artificial, outras não. Assim, a verificação da qualidade de toda a solução é necessária. É necessária a aplicação de diversos tipos de testes, que garantam que individualmente os módulos funcionem, mas também conjuntamente.

Antes de ser submetido a um processo de certificação externo ao fabricante, é necessário que as habilidades daquela versão do software responsável pela condução do veículo sejam evidenciadas por meio de simulações que deem garantia mínima do bom funcionamento daquele veículo.

Jansen e Chan (2017) apresentam um diagrama (*Figura 6*) que representa exatamente a necessidade de criação de um processo de homologação que considere a análise das evidências dos testes e de simulações para emissão de um juízo de valor sobre a segurança funcional de um veículo.

Figura 6 • Camadas de evidências de segurança para uma conclusão convincente<sup>45</sup>



Fonte: Jansen; Chan (2017).

Por fim, antes que sejam emitidas autorizações para que o veículo trafegue em condições reais, é necessária a execução de testes por parte da autoridade reguladora ou administrativa local.<sup>46</sup>

- **Importância da rastreabilidade**

A rastreabilidade do aprendizado é preocupação fundamental para qualquer sistema de apuração de responsabilidade. De forma mais ampla, a rastreabilidade contribui para o processo de transparência tecnológica. A dificuldade humana na compreensão de regras codificadas em software ou hardware não é atributo intrínseco às tecnologias. Portanto, criar formas de aumentar a transparência com que as tecnologias trabalham é importante.

45 Tradução livre. No original: “Layering of the safety evidence into one convincing conclusion” (JANSEN; CHAN, 2017, p. 4).

46 O modelo considerado mais adequado a ser aplicado em face das condições continentais e da diversidade de qualidade de vias, sinalizações e condições de trânsito específicas é aquele em que haja uma certificação geral aplicada por uma autoridade federal, verificando a adesão aos padrões internacionais e nacionais de qualidade e segurança. Contudo, para a circulação do veículo, é necessária a autorização local que garanta que este está habilitado ao tráfego nas condições locais, nas vias e nos horários especificados. Em certa medida, reflete a atual estrutura de competências relacionadas ao trânsito de veículo, com competências federais e locais concorrendo simultaneamente.

- **Registro de aprendizagem**

Toda cadeia de fornecedores que contribui para o ganho de competências de um algoritmo inteligente deve ter seus nomes gravados em um registro de aprendizado, que consideraria outras informações como as evidências de aprovação nos três âmbitos de testes e até das massas de testes (ou suas versões) utilizadas no processo de avaliação.

Os registros de aprendizagem ou *learning loggers* não devem ser guardados juntamente com o veículo, mas constituir evidência própria a ser juntada no processo de certificação e verificada no processo de autorização.

Apesar de não ser relevante para esta proposta inicial o suporte tecnológico no qual se faz esse registro de aprendizagem, nem seu conteúdo mais detalhado, devendo haver estudos mais detalhados para apontar a estrutura de dados mínima necessária, identifica-se, neste estudo, um cenário interessante de uso da tecnologia *blockchain*, que guardaria de forma definitiva e imutável tais registros e ainda ofereceria possibilidade de verificação humana e por software/serviço.

Por fim, é necessário haver garantia da existência dos registros de aprendizagem e de sua obrigação de entrega e uso no processo de certificação do veículo, por meio de sugestão legislativa.

## 5.6 Vedação à aprendizagem on-line

Conforme visto no *Capítulo 3*, é possível que os algoritmos aprendam em tempo real a sua utilização. A readequação dos pesos de uma rede neural com a finalidade de aprimorar seu desempenho considerando os dados a serem capturados durante sua utilização permitiria, em tese, maior capacidade de customização do comportamento do carro em relação ao seu motorista ou à sua utilização prática no dia a dia.

Contudo, em razão de sua característica de otimização local não determinista e experimentação, nem sempre o processo de treinamento de uma rede gera resultados melhores que o anterior. Quando submetido a uma nova massa de dados, o algoritmo de aprendizado recalcula os pesos das camadas da rede neural. Tal resultado, entretanto, por vezes gera uma nova rede com desempenho pior que a versão anterior, sendo, assim, descartado.

Busca-se evitar, dessa forma, que ocorra com o veículo autônomo inteligente o que ocorreu com o *chatbot* Tay, da Microsoft, em 2016, que deveria aprender com a conversa com humanos e passou a reproduzir o racismo e a

ignorância dos usuários (EXPOSTO À INTERNET..., 2016). Obviamente naquele caso, os usuários, sabendo das intenções do projeto, conduziram suas interações de forma que o robô virtual aprendesse que aquilo era correto. A partir daí, começou a utilizar as respostas em outras interações com outros usuários. Tratou-se, assim, de um processo de sabotagem às intenções iniciais da empresa, revelando a vulnerabilidade da tecnologia implementada.

Para um algoritmo, não há o certo ou o errado, há aquilo que lhe é “ensinado” e que apresenta melhores resultados. O juízo de valor sobre o significado dos resultados é externo. Contudo, o usuário de um veículo autônomo e os demais motoristas não podem ser colocados em uma posição vulnerável que lhes pode tirar a vida. A vedação ao aprendizado on-line, conforme definido por Peter e Norvig (2013), é primordial para que não tenhamos veículos autônomos trafegando com uma versão de sistema cujas reais capacidades não sejam conhecidas.

## 5.7 Criação de um processo de certificação nacional e autorização local

É prática comum na indústria automotiva a certificação de veículos automotores, principalmente para verificar se estão aderentes aos padrões internacionais e à regulação local com relação a segurança e fatores ambientais; ou seja, é preciso que esses veículos estejam preparados para trafegar nas condições de vias e regulamentos nacionais.

Lima *et al.* (2018) apresentam proposta de criação de uma pista de testes para os veículos autônomos como parte do processo de certificação. Descrevem o projeto para criação de uma pista na Universidade Federal de Lavras (UFLA), que permite testar diversos cenários, como terrenos urbanos, rurais e terrenos de agricultura. Além da proposta de criação da pista de testes, Lima *et al.* (2018) apresentam proposta para a homologação e a certificação de veículos autônomos. O cenário atual de certificação de veículos não autônomos possui duas abordagens, uma baseada no modelo de autocertificação, utilizado por EUA e Canadá, em que os próprios fabricantes são responsáveis por autocertificar o cumprimento de todos os padrões aplicáveis, e a outra baseada no modelo de aprovação, utilizado em quase todo o restante do mundo. O caso brasileiro é uma combinação dos dois sistemas.

Lima *et al.* (2018) afirmam que ambos os modelos apresentam prós e contras. O modelo de autorregulação reduz o custo de *compliance* das empresas, pois os critérios de testes são frequentemente mais fáceis e menos custosos.

Da parte do governo, se por um lado gera menos custo, que está alocado para os fabricantes, gera mais dificuldade no controle de que veículos não adequados sejam vendidos. Por sua vez, o modelo baseado na existência de uma aprovação ou certificação, apesar de gerar um custo sistêmico maior com *compliance*, gera por outro lado uma oportunidade de harmonização regulatória.

Contudo, é fato que toda a discussão sobre a regulação ainda tem muito a avançar, à medida que as pesquisas e testes começarem a se disseminar pelos países. Assim, há muito o que discutir e escolher, uma vez que o próprio nível de exigência regulatória deverá variar em razão do nível de automação dos veículos.

- **Criação de um processo de certificação do produto**

A criação de um processo de certificação nacional da tecnologia de carros autônomos é mandatória, a fim de que se possa verificar a conformidade dos veículos autônomos à regulação de segurança de transporte nacional e às condições do trânsito brasileiro.

Assim, o primeiro passo é a necessidade de catalogação de especificidades do trânsito local, a fim de que estas orientem a criação de cenários de teste dos veículos.

Outro ponto importante é que o processo de certificação seja algo com algum custo que iniba o comportamento oportunista dos fabricantes em utilizar o processo de certificação como fonte de treinamento.

Nesse sentido, é razoável que a autoridade certificadora possa verificar *a priori* se o veículo a ser testado já passou por determinados testes e simulações, aferindo, assim, seus resultados internos de validação (cenários testados, horas de treinamento, etc.).

Naturalmente, é preciso que modelos, normas e padrões a serem aplicados em um processo de certificação devam considerar o nível de autonomia pretendido pelo fabricante. Atualmente, há a classificação sugerida pela NHTSA para os veículos autônomos. A certificação organizada por nível, considerando haver requisitos diferentes para cada nível, deve levar a requisitos legais distintos e a treinamento distinto.

Jansen e Chan (2017) levantam outra questão relevante quanto à forma de certificação atual de veículos não autônomos, na qual as conformidades aos padrões e às normas são verificadas apenas uma vez:

Para veículos equipados com essa tecnologia, a estratégia de validação em um passo pode se mostrar insuficiente para garantir a segurança por todo o ciclo de vida de uso do produto. Uma abordagem focada na garantia da segurança por meio da análise dos dados do veículo parece mais adequada, devido à análise contínua dos dados desses veículos comparados aos veículos-modelo. Entretanto, discussões sobre a propriedade dos dados podem impactar o adequado desenvolvimento e uso deste tipo de metodologia e será necessário ser resolvido a fim de que esta abordagem se torne viável.<sup>47</sup>

Sua proposta é de que os dados dos veículos autônomos sejam avaliados de forma contínua. Reconhecem, todavia, a dificuldade da proposta em razão das discussões sobre a propriedade dos dados dos veículos.

Adicionamos uma segunda consideração sobre a proposta de Jansen e Chan às preocupações com segurança e privacidade desses dados. A análise contínua de dados demanda disponibilidade de infraestrutura de comunicação e processamento por parte de um órgão certificador, o que pode requerer grandes investimentos em infraestrutura para essa finalidade específica.

Assim, apesar de concordarmos com a proposta de que a certificação ou validação em apenas um momento não é suficiente para dar garantia de segurança de uso da tecnologia, não achamos promissor o caminho da validação contínua.

A proposta mais adequada seria algo intermediário, orientado pela disponibilidade de novas versões do software ou hardware do veículo autônomo, que deveria ser submetido a uma bateria de certificação, a fim de aferir seu desempenho em cenários de uso, compatível com o nível de autonomia pretendido, e que, se aprovado, teria seu uso aprovado, inclusive de forma tecnológica,<sup>48</sup> e poderia ser disponibilizado para instalação e atualização nos veículos.

---

47 Tradução livre. Do original: “*For vehicles equipped with this technology, a onetime validation strategy may prove insufficient to ensure their safety across their entire lifecycle. A data-driven lifetime assurance approach therefore seems a more suitable approach, based on continuous data analysis of these vehicles compared to ‘model’ vehicles. However, current discussions about data ownership may prevent adequate development and use of such methodologies and will need to be solved in order for such an approach to become viable.*” (JANSEN; CHAN, 2017, p. 7).

48 Uma possível forma é o uso da certificação digital.

- **Existência de massas de dados locais para treinamento e certificação**

É possível observar que as condições e os regulamentos locais já são considerados no funcionamento dessa indústria. Contudo, no caso dos veículos autônomos, há uma importância extra a ser considerada: as condições locais são fundamentais para o treinamento das próprias funcionalidades do veículo. Assim, em vez de o processo de certificação entrar apenas em um momento do ciclo de vida do carro, antes de ser comercializado no mercado, ele deve entrar em um momento anterior do ciclo de vida de desenvolvimento do carro, na parte de projeto e implementação, na medida em que as condições de via, sinalização e até culturais podem implicar a necessidade de novos cenários para treinamento e de mais massas de dados.

Deve-se ter, portanto, a coleta de dados sobre tráfego locais. É necessário haver dados locais para treinamento, ou seja, que estejam disponíveis para equipes de desenvolvimento dos carros, e para certificação. É importante que sejam massas distintas, a fim de que não se tenham testes viciados, ou algoritmos preparados para passar em testes e não para trafegar em condições reais.

- **Certificação do motorista de veículos autônomos**

Além das certificações para o veículo e seus algoritmos, é preciso considerar a possibilidade de criação de carteira de motorista específica, por meio de uma nova categoria, que exija conhecimentos, habilidades e atitudes diferentes para utilização de veículos autônomos, em especial àqueles que tenham de assumir a responsabilidade por retomar os controles do veículo. Assim, é preciso estudar em detalhes quais são os requisitos mínimos e máximos para que o controle possa ser devolvido ao motorista humano. Quanto tempo antes de se evitar um acidente? Qual a forma de sinalizar a necessidade desse controle, sons, vibração? Que atitudes tomar à medida que o tempo passa e o controle não é retomado, redução de velocidade, parada do veículo?

Por outro lado, nas categorias em que não há previsão da presença do motorista, é preciso que os passageiros do veículo estejam cientes e concordem com certos limites de atuação (velocidade máxima, parâmetros para tomadas de decisão).

A proposta inicial de curto prazo considerou a possibilidade de edição de resolução do Contran criando categoria especial. A médio e a longo prazo, consideramos a possibilidade de discussão legislativa por meio de lei que trate do tema específico e que fixe as bases e os parâmetros para a regulamentação do Contran, caso se reconheça como insuficiente ou incompleto o modelo apenas na regulação setorial.

- **Certificação de infraestrutura**

Conforme abordado na *Seção 4.4*, importa considerar a necessidade de certificar a infraestrutura, ou seja, as vias e os locais por onde esse tráfego autônomo irá passar.

Considerando as condições urbanas e não urbanas de tráfego, chegar-se-á à conclusão de que há vias que oferecem melhores condições para que veículos autônomos trafeguem, em razão da qualidade de sua pavimentação, da qualidade de sua sinalização, do perfil de seu tráfego, das condições populacionais à sua volta, entre outras características. Outra questão importante é a dependência dos veículos autônomos de outras tecnologias de comunicação, em especial o sistema GPS. Nos casos estudados, o sistema de localização depende de uma precisão enorme que não é garantida apenas pelo sistema GPS, sendo necessária uma complementação advinda das redes 4G. Assim, regiões que apresentem sombra de cobertura do Serviço Móvel Pessoal<sup>49</sup> tendem a gerar até a impossibilidade de tráfego. É necessário que o proprietário da infraestrutura (pública ou particular) garanta a cobertura do serviço.

Nesse sentido, observa-se na Europa o interesse das concessionárias das vias na criação de infraestrutura para não apenas receber os veículos autônomos, mas para otimizar sua utilização. São cenários nos quais a rodovia se comunica com o veículo (V2I).<sup>50</sup>

- **Modelo de certificação nacional e aplicação local pelas autoridades locais de trânsito**

O modelo de certificação nacional é importante para a definição das regras e dos regulamentos gerais a serem aplicados no mercado de veículos autônomos que forem fabricados e que trafegarão em território nacional. Contudo, as realidades locais de vias e tráfego e os cenários específicos de utilização da tecnologia sugerem que as autoridades responsáveis por emissão de autorizações para tráfego de veículos autônomos sejam locais.

Lima *et al.* (2018) apresentam uma descrição dos principais órgãos envolvidos no SNT, entre eles Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro), Denatran, Detran, Contran, Conama e DNIT. Para circular em território nacio-

---

49 Serviço de Telecomunicações Móvel regulado pela Resolução n. 477, de 7 de agosto de 2007, da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel).

50 Ver *Seção 4.4*.

nal, é necessário receber o código de marca/modelo/versão de veículos do Registro Nacional de Veículos Automotores (Renavam) e da emissão do Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito (CAT), para fins de registro no Sistema Nacional de Trânsito.<sup>51</sup>

Assim, do ponto de vista federal, os procedimentos que permitem o registro do veículo e que exigem a execução de testes de qualidade e conformidade com a legislação ambiental, com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são executados pelo Inmetro ou por rede por ele credenciada. Uma vez aprovados, os produtos recebem um selo de acordo com o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade.

O registro no órgão federal habilita a venda do veículo no mercado interno. Contudo, a circulação nas vias obedece aos regramentos disponíveis no CTB e submete-se às fiscalizações de órgãos como Detran, forças policiais, entre outros. Tipicamente, as emissões de documentos que permitem a livre circulação dos veículos pelas cidades são feitas em nível estadual pelo Detran. Sem considerar ainda a função institucional do DNIT, ao qual competiriam a promoção de estudos sobre engenharia de tráfego, o estabelecimento de padrões, normas e especificações de segurança, a sinalização de tráfego e a manutenção, conservação e restauração de rodovias. O Detran deveria atuar na emissão de licenciamentos ou autorizações para o tráfego de veículos autônomos, ou na criação de um sistema para que possa delegar parte das atribuições a entidades municipais.

## 5.8 Criação de um padrão para os processos de teste, validação e certificação

Conforme mencionamos, há a necessidade de criação de massas de dados com as condições locais do trânsito, além do fato de que haja segregação entre as massas de testes e de certificação.

Além disso, comentamos sobre a necessidade de que a habilitação para o tráfego ou para a realização de testes seja precedida de evidências de que o veículo está em condições de sair às ruas.

É necessário, assim, que as atividades de testes, validação e certificação passem por um processo de padronização, a fim de que sigam as melhores práticas internacionais, e que, naturalmente, os custos com sua criação se-

---

51 Conforme Portaria Denatran n. 190, de 29 de junho de 2009.

jam melhor distribuídos na indústria, em razão de uma escala mundial. Contudo, cabe observar que neste momento do desenvolvimento da indústria ainda não há padrões e boas práticas para certificação de veículos autônomos, existem, sim, modelos e abordagens que devem ser melhor estudados, a fim de se verificar o melhor sistema para o Brasil.

O cenário da realização de testes pressupõe autorizações específicas e restritas, contudo o cenário de uso em larga escala tornaria o modelo individual impraticável administrativamente. Assim, após passar por um processo de certificação, é necessário que o uso do veículo autônomo se dê com segurança jurídica para seus usuários e para a sociedade. Portanto, é necessário diferenciar a regulação para cenários de testes daquela que envolve o uso comercial por um mercado consumidor.

Nesse caso, é importante que a regulação a ser estabelecida seja condizente com o nível de autonomia certificado para o veículo, bem como o nível de exigências aos seus motoristas e à sua infraestrutura.

Não obstante, é preciso que a regulação para o tráfego autônomo considere especificidades tecnológicas que podem mudar ao longo do tempo de uso e que podem não ser refletidas em um momento único de certificação. O ciclo de vida de um software (responsável por dar autonomia ao carro) é bem mais dinâmico que o da parte mecânica; assim, é perfeitamente possível imaginar que aprimoramentos serão feitos e estarão disponíveis para implantação no carro ao longo de sua vida útil.

Desse modo, é preciso que a regulação preveja um modelo no qual novas versões sejam disponibilizadas e implantáveis nos veículos autônomos. Perguntas como se será possível baixar uma atualização da internet diretamente no carro ou se somente será possível fazê-lo em uma oficina com autorização do fabricante, ou certificada pelo órgão de trânsito, precisam ser melhor respondidas. É possível desenhar um cenário em que uma autoridade certificadora disponibilize um certificado eletrônico capaz de ser consultado em tempo real pelo próprio veículo, a fim de verificar se aquela versão passou pelo processo de certificação federal e, com isso, tomar a decisão de não ligar, por exemplo. Cenários como esse, em que regras de natureza regulatória são utilizadas no próprio *design* de funcionamento do software, serão melhor explorados na *Seção 5.13 – Coding the Law*.

## 5.9 Problemas de infraestrutura

A visita realizada ao Projeto CaRINA,<sup>52</sup> do Laboratório de Robótica Móvel da USP São Carlos,<sup>53</sup> permitiu verificar que a dependência dos carros autônomos de serviços de infraestrutura pode levar à necessidade de imediata parada de um veículo autônomo.

A arquitetura do CaRINA é um exemplo das implementações mencionadas na *Seção 4.4* que dependem do sistema de suporte georreferenciado. O sistema de GPS é fundamental, apesar de não ser único, para o sistema de localização do veículo. Assim, decisões básicas sobre a detecção de obstáculos, por exemplo, dependem da percepção da localização do veículo e de sua rota. O nível de precisão do sistema GPS, com triangulação satelital, é insuficiente para a operação do veículo em segurança. Para sanar esse problema, as equipes de desenvolvimento dependem de soluções como o GPS diferencial ou da interface com as antenas de telefonia.

Por motivo semelhante, a Resolução do Parlamento Europeu sobre o Direito Civil sobre Robótica, em sua seção sobre veículos autônomos, dispõe:

Salienta a importância decisiva de os programas europeus de navegação por satélite Galileo e EGNOS disponibilizarem informações de posicionamento e cronometria fiáveis e precisas para a implantação de veículos autônomos e exorta, neste contexto, à ultimização e ao lançamento dos satélites necessários para completar o sistema de posicionamento europeu Galileo; [...].

Há, portanto, a necessidade de cobertura de algum sistema complementar de comunicação para que os dados de localização disponíveis para o veículo se deem no nível de precisão necessário à sua operação segura.

Do ponto de vista regulatório, e considerando as dificuldades de cobertura do Serviço Móvel Pessoal (SMP), é necessário que a autoridade que emitirá a autorização para o tráfego verifique a existência de cobertura e qualidade ao longo das vias pelas quais irá autorizar o tráfego autônomo.

Em face da criticidade e da importância da disponibilidade da infraestrutura de comunicação, é preciso verificar com a Anatel a necessidade de criação de um serviço de comunicação específico, uma vez que as torres e

---

52 Carro Robótico Inteligente para Navegação Autônoma.

53 Laboratório de Robótica Móvel. Disponível em: <http://irm.icmc.usp.br/>. Acesso em: 5 set. 2018.

os modos de operação das redes de telecomunicações em operação para o provimento do SMP não foram criados para esse fim.

Observa-se, portanto, a fim de possibilitar a presença de veículos autônomos inteligentes nas vias brasileiras, a necessidade de viabilização de investimentos em infraestrutura para assegurar que as vias pelas quais o tráfego autônomo será autorizado tenham as condições de sinalização e comunicação necessárias ao adequado funcionamento dos sistemas de percepção dos veículos autônomos.

## 5.10 Limitações e restrições de funcionamento dos sensores

Conforme abordamos na *Seção 3.7*, os sensores possuem limitações de especificação quanto às condições ambientais e ao próprio funcionamento da tecnologia utilizada. Apresentou-se naquela seção a limitação da área de cobertura do mapeamento proporcionado pelo LiDAR, entre 80 m e 100 m.

A fim de compreender o que melhor representa essa restrição, vejamos que um carro a 100 km/h em uma rodovia percorre a distância de 100 metros em 3.6 segundos. Assim, é preciso avaliar se o veículo autônomo consegue analisar todos os cenários para uma tomada de decisão em tão curto tempo.<sup>54</sup>

Naturalmente, não se busca neste estudo a discussão específica da quantidade de operações ou decisões passíveis de serem tomadas por uma máquina em 3.6 segundos, mas apenas a caracterização de um potencial problema, pelo menos para parâmetros humanos.

O art. 29, II, do CTB fala sobre o conceito de distância segura lateral e frontal:

II - o condutor deverá guardar distância de segurança lateral e frontal entre o seu e os demais veículos, bem como em relação ao bordo da pista, considerando-se, no momento, a velocidade e as condições do local, da circulação, do veículo e as condições climáticas; [...].

Observa-se, portanto, que há a preocupação do legislador quanto a uma segurança na distância, a fim de que seja suficiente para que o motorista

---

54 Neste caso, há que se considerar a possibilidade de os algoritmos decidirem por repassar o controle ao motorista humano, que ainda necessitará de algum tempo para decidir e agir.

evite um acidente, devendo esta variar, ou seja, aumentar, caso as condições do local assim o exijam.

Condições normais de condução em rodovias exigem que o motorista tenha um campo visual de centenas de metros, pois a própria sinalização horizontal da via restringe que se faça uma ultrapassagem já próximo a uma curva, por exemplo.

Assim, é importante que sejam avaliadas em detalhes a infraestrutura de rodovias e as necessárias condutas de segurança para que o veículo autônomo as possa realizar considerando suas limitações sensoriais.

No caso concreto, poder-se-ia seguir dois caminhos: a limitação regulatória para velocidade de veículos autônomos, emitida em seu termo de autorização ou certificação, ou a inserção de mais dados, provenientes da própria rodovia, por uma central de controle, por exemplo, de dados de tráfego ou sinalização virtual, considerando uma realidade de comunicação *vehicle-to-infrastructure* (V2I). Pode-se considerar, ainda, o cenário de inserção de mais dados nos sistemas de controle por meio de comunicação intraveicular (V2V) no qual os veículos, por meio de radiofrequência própria, detectam a presença um do outro e passam a se comunicar. Nesse caso hipotético, é preciso que essas tecnologias de comunicação tenham amplitude de cobertura razoável para manter os veículos operando de forma segura.

## 5.11 Cenários de utilização de veículos autônomos

Os veículos autônomos inteligentes não são de uso exclusivo da indústria automotiva, que também não é a única beneficiária dessa tecnologia. O uso de tecnologias autônomas na indústria agropecuária tem permitido a redução de custos e o aumento de produtividade de culturas como a laranja. Diagnóstico de doenças baseado nas imagens capturadas por *drones*, melhor planejamento no manejo do solo, identificação de necessidades nutricionais específicas têm feito com que a indústria agropecuária invista em pesquisas. Colheitadeiras e pulverizadores autônomos tendem a gerar melhores condições de trabalho para os trabalhadores rurais.<sup>55</sup>

---

55 O impacto para o mercado com a remoção de postos de trabalho pela inteligência artificial, embora relevante, não é escopo da análise proposta neste estudo. Contudo, a resolução do Parlamento Europeu (v. *Seção 5.7*) endereça essa questão como um ponto importante a ser considerado pelos governos, ou seja, a possibilidade de substituição de empregados humanos por robôs é relevante e real.

O uso doméstico de veículos autônomos é um cenário ainda desafiador, mesmo que seja buscado pelos grandes fabricantes, em razão dos altos custos envolvidos na equipagem de sensores envolvidos. É provável que cenários mais específicos de utilização tragam melhores resultados à produtividade do País, como nos modais ferroviários e hidroviários. A competitividade da indústria nacional depende em grande parte de limitações logísticas, como perdas em rodovias, tamanho da malha ferroviária, tempo de carga e descarga em portos. São pontos de atuação para os veículos autônomos que podem gerar grande aumento de produtividade no setor logístico.

Considerando o cenário de mobilidade urbana, é possível que a melhor aplicação, na medida em que os custos são proibitivos para o mercado consumidor familiar, seja a utilização coletiva ou que envolva o compartilhamento de veículos.

Do ponto de vista regulatório, cada cenário desses deve ser melhor estudado, pois envolve aplicações de normas e leis que não apenas o Código Brasileiro de Trânsito.

## 5.12 Um arquétipo analítico inicial

A resposta à pergunta inicial da pesquisa, considerando todos os aspectos abordados até o momento, passa por identificar os fatores que levaram à ocorrência de um acidente.

Inicialmente, é necessário saber se o veículo estava operando em modo autônomo, uma vez que a maioria das experiências atuais de desenvolvimento de carros autônomos considera a existência de um motorista.

Para essa informação inicial, é importante analisar os dados do *datalogger*, que devem necessariamente fazer parte das arquiteturas de implementação dos carros e guardar os dados do momento em que os recursos de autonomia são ativados e os momentos e os motivos em que a entrega da direção é dada ao motorista humano.

Os veículos estudados nesta pesquisa dispõem de seletores específicos que habilitam e desabilitam de forma modular os recursos de autonomia e de um botão vermelho em que todos os recursos de autonomia são desligados imediatamente.

Considerando que no momento do acidente o veículo autônomo estava em “modo autônomo”, dá-se um segundo nível analítico:

- **Falha no veículo**

As falhas possíveis de serem ocasionadas pelo veículo podem ter origem tanto no sistema mecânico quanto no sistema autônomo, ou nas modificações feitas para acoplamento do sistema autônomo ao sistema mecânico. As falhas no sistema mecânico não estão no escopo desta obra. As falhas no sistema autônomo, por sua vez, poderiam ser classificadas em duas categorias:

- **Hardware** – Falha em algum dos equipamentos de hardware que são necessários ao funcionamento autônomo do veículo, principalmente os sensores – LiDAR, RADAR, máquinas, etc.
- **Software** – Falha em algum dos componentes da arquitetura de software responsável por dar comportamento autônomo ao carro. Nesse caso, poderíamos organizá-los em algumas categorias:
  - ◆ **Sistemas de suporte** – Falha na camada operacional do software de controle. Nesse caso, cita-se como exemplo o ROS.<sup>56</sup>
  - ◆ **Camada operacional de reconhecimento de padrões** – Nesta camada se localizam os módulos responsáveis por interpretar e reconhecer padrões dos sensores bem como da fusão de sensores. Tipicamente, as implementações dessa camada utilizam redes neurais artificiais. Nesse caso, será necessário avaliar as informações sobre seu treinamento e certificação, disponível por meio de um registro de aprendizado apresentado no processo de certificação. Diante dessa informação, será possível concluir se o treinamento da rede foi insuficiente ou se o processo de certificação foi deficitário.
  - ◆ **Camada de controle e planejamento** – Conforme concluído por este estudo, as implementações típicas desta camada não utilizam redes neurais, mas algum método estatístico/probabilístico ou determinístico para a implementação das regras ou decisões de ação a partir dos padrões identificados nos módulos operacionais. Assim, os registros de aprendizagem deverão conter as regras implementadas para que se possa avaliar as condições de exceção e sua correlação com os eventos do acidente.

---

<sup>56</sup> O *Robot Operating System* ou ROS é um *framework* flexível para o desenvolvimento de software de robôs. Disponível em: <http://www.ros.org/about-ros/>.

- **Falha dos sistemas de apoio (infraestrutura)**

Conforme observado, o funcionamento de um carro autônomo e o seu desempenho podem depender criticamente de sistemas de comunicação ou de informações que venham da infraestrutura (rodovia) ou de outro veículo. O caso principal discutido neste estudo é o funcionamento do sistema de GPS e sua dependência de cobertura do sistema de telefonia. Assim, é necessário verificar se no momento do acidente não houve alguma falha de cobertura do referido serviço. Em que pesem os cenários relacionados a comunicação entre veículos (V2V) e comunicação entre veículo e infraestrutura (V2I) terem sido objeto de maior exploração, a implementação de tarefas relacionadas a direção pode ser executada com maior segurança caso tais cenários sejam possíveis. Desse modo, há a necessidade de verificar a ocorrência de tais cenários e se alguma decisão do veículo se baseou em informações provenientes de outro veículo ou infraestrutura.

- **Certificação e autorizações**

A verificação dos registros de certificação e das autorizações tem o objetivo de confrontar o cenário real com os cenários cujo uso foi autorizado e certificado pelas autoridades. No caso das certificações, o objetivo é verificar se as habilidades necessárias para o adequado desempenho do veículo nas condições do acidente estavam certificadas para aquele veículo, de forma análoga ao que se faz ao se verificar se um determinado motorista possui habilitação na categoria D para dirigir um caminhão. No caso das autorizações, o objetivo é avaliar se suas eventuais autorizações foram obedecidas ou se o veículo estava a trafegar fora das condições autorizadas pelas autoridades, por exemplo, fora das vias definidas ou da área especificada. Além disso, a verificação da autorização visa a avaliar se a autoridade de trânsito local fez a devida avaliação de risco.

As certificações podem se dividir em dois grupos: as dadas ao veículo e as dadas ao motorista autônomo. As certificações dadas ao veículo podem se subdividir em dois grupos: aquelas afetas ao sistema autônomo e aquelas afetas aos sistemas mecânicos ou não inteligentes.

- **Cena do acidente**

Reconstituir o cenário do acidente é atividade pericial importante para se avaliar as condições ambientais e dinâmicas envolvidas no evento. Assim, é importante que os dados do *datalogger* ou caixa-preta sejam capturados e colocados em um ambiente de simulação, por meio do qual se monte uma

linha do tempo sobre o que ocorreu nos momentos anteriores, incluindo o equipamento, o motorista e o ambiente.

Considerando a importância das condições ambientais para o funcionamento dos sensores e para o reconhecimento dos padrões, é importante o registro das condições ambientais. O reconhecimento de padrões em imagens está no coração dos mecanismos de percepção do carro. Assim, as condições ambientais alteram cores que podem fazer que um componente mal treinado não reconheça o asfalto em uma chuva torrencial, ou um obstáculo em um crepúsculo.

É fundamental, ainda, que os dados do *datalogger* relevantes para a elucidação da cena do acidente sejam mantidos intactos, sem nenhuma possibilidade de modificação ou exclusão, o que implica que as partes sejam efetivamente alijadas do acesso ao *datalogger*, incluindo: o proprietário do carro, o motorista e os passageiros, as vítimas do acidente, a empresa que desenvolve ou distribui o software do sistema autônomo, a empresa que opera tal software no trânsito, etc.

O arquétipo inicial ora proposto vai além do que seria necessário para aferir a responsabilidade civil do fabricante ou do motorista: objetiva ter uma visão mais completa e detalhada dos fatos ocorridos e de suas causas para que não apenas se possa realizar eventual responsabilização civil, penal ou administrativa, mas também para que os riscos sistêmicos presentes nos modelos de certificação e autorização possam ser aprimorados.

### 5.13 Coding the Law

O atendimento a requisitos de negócio é componente básico da engenharia de software. Parte desses requisitos está associada a necessidades legais e regulatórias na área em que determinado aplicativo atuará. Assim, uma obrigação legal de guarda de dados será implementada em aplicativo que seja disponibilizado na web por meio de uma série de mecanismos existentes no software desenvolvido ou nos serviços que lhe dão suporte, como servidores de aplicação ou de gerenciamento de banco de dados, fazendo backups.

Há um cenário muito comum na engenharia de software, o conflito de requisitos, quando o atendimento a um requisito gera efeitos colaterais ou atrapalha a implementação de outros. Por exemplo, casos em que há um requisito de desempenho relacionado ao atendimento de determinado número de requisições por segundo. Tipicamente, a implementação de uma arquitetura simples e enxuta levaria ao atendimento desse requisito. Contudo,

a existência de um requisito de segurança, como a guarda dos dados criptografados, gera uma carga de processamento maior para cifrar ou decifrar determinado conteúdo, diminuindo, assim, a capacidade de atendimento de requisições por segundo.

Em casos como esse, a equipe do projeto deve realizar um trabalho de classificação dos requisitos a fim de descobrir quais são mandatórios e quais são opcionais e, nos casos-limites, reunir-se com os *stakeholders* do projeto para que priorizem e cheguem a um acordo quanto aos conflitos entre requisitos.

Assim, na área de tecnologia da informação, há uma terminologia comum, a “*x by design*”, a fim de caracterizar que algum atributo ou qualidade está sendo considerado desde o nascimento de um aplicativo ou solução, ou que seu projeto leva em consideração determinados aspectos. Como exemplos comuns temos o Security By Design<sup>57</sup> e o Forensic By Design,<sup>58</sup> entre outros.

Recentemente, já fora do campo da engenharia de software e dentro da comunidade do Direito, surgiu a terminologia *privacy by design* (DANEZIS *et al.*, 2015), a fim de tratar de uma necessidade das aplicações desenvolvidas para a internet ou de aplicações móveis para preservar e dar adequado tratamento aos dados pessoais de seus usuários. Os debates em torno da tramitação e da aprovação do Regulamento Geral de Proteção de Dados europeu, bem como de sua versão brasileira, tornaram frequente essa expressão no vocabulário dos profissionais do Direito.

Em todos os casos mencionados há uma ideia comum: a possibilidade de codificação de mecanismos tecnológicos capazes de empreender os princípios, as obrigações ou os processos descritos em determinada norma.

Surge, assim, a ideia de *coding the Law*, ou seja, a capacidade de implementação de regras dispostas em leis e regulamentos por meio de códigos dispostos na aplicação desde o seu nascimento. Sommerville (2011) classifica esse tipo de requisito como requisitos legais. Trata-se de requisitos que devem ser seguidos para garantir que o sistema opere dentro da lei. Dentro da taxonomia descrita por Sommerville (2011), os requisitos legais são um tipo

---

57 As boas práticas para tornar uma aplicação mais segura em engenharia de software que envolvem o uso de *security design patterns*. Dougherty *et al.* (2009, p. 118) apresentam um catálogo de padrões de projeto para implementação de segurança.

58 Ab Rahman *et al.* (2016) apresentam um *framework* que permite a integração de ferramentas de forense computacional no desenvolvimento de sistema ciberfísico baseado em nuvem que pode ajudar organizações a se recuperar de um ataque ciberfísico.

especial de requisito conhecido como requisito não funcional. Para ele, “os requisitos não funcionais surgem por meio das necessidades dos usuários, [...] ou a partir de fatores externos, como regulamentos de segurança ou legislações de privacidade”.

Contudo, em todos os casos há um “juiz” que faz a seleção do que deve ser implementado e do que não deve, que é a equipe de desenvolvimento daquela solução, em última instância, da empresa desenvolvedora ou provedora da solução.

O cumprimento de obrigações legais ou regulatórias determinadas por um Estado ou regime jurídico deveria ser inato às aplicações, contudo, isso não é observado na prática. Basta observar o debate em torno da obrigação de quebra de sigilo das comunicações imposta ao WhatsApp e sua suposta impossibilidade.<sup>59</sup> Ao decidir aplicar a utilidade para seu mercado consumidor por meio da implementação da criptografia ponta a ponta, a empresa relegou a segundo plano a necessidade de atender a essa obrigação vigente em território nacional. A partir do momento da implementação de criptografia, passou a arguir a impossibilidade de cumprir as sentenças judiciais nacionais.

Observa-se, assim, que, para que uma aplicação tenha a possibilidade e a facilidade de implementar regras ou normas dispostas em leis ou regulações, é necessário que sua arquitetura seja projetada para fazê-lo da melhor forma. Natural, então, pensar a aplicação de tais princípios para o desenvolvimento e o funcionamento dos veículos autônomos.

Conforme visto neste estudo, o arcabouço jurídico regulatório envolvido na circulação de um veículo autônomo é grande e variável de um país para outro. Sugere-se, assim, que o projeto de implementações de carros autônomos seja preparado para atender a tais normativos em contextos específicos, os quais chamaremos de *Law enforcement by design* e *regulation by design*.

As regras por trás do *Law enforcement by design* estão associadas à preparação que o veículo tem para atender a requisições dos órgãos com poder de polícia ou de uma decisão judicial. Nesse caso, entende-se o poder de polícia como o poder de polícia administrativo presente nos órgãos de trânsito (Detran e DERs) e das forças policiais. Um cenário típico seria a ordem de parada para um carro autônomo que passa por uma blitz. Como a autoridade administrativa ou policial faria para dar essa ordem? Como o veículo faria para identificar que uma ordem de parada lhe foi dada por uma

---

59 ADPF 403 e ADI 5527.

autoridade com poderes para isso? A decisão do carro será parar o veículo ou retornar o controle ao motorista humano? E se o carro for totalmente autônomo e não estiver presente a ideia de um motorista dentro do carro, mas apenas passageiros?

Outro exemplo seria o proferimento de uma decisão de bloqueio e arresto de bens na qual o juiz determinasse o recolhimento do veículo ou impedisse sua circulação. O conhecimento da sentença não poderia ser dado ao veículo de forma que este decidisse não ligar seu motor em face do impedimento?

Apresenta-se, assim, como conclusão deste estudo a necessidade de que tais demandas sejam tratadas nas arquiteturas dos veículos autônomos como mais um cenário de implementação que demande treinamento dos veículos.

O *regulation by design* seria uma forma de implementar uma série de verificações por meio de uma autoridade regulatória antes de ligar o motor ou de aceitar a ligação do modo autônomo. Descrevemos a seguir alguns cenários possíveis:

- carro só funciona se verificar que os módulos que estão rodando estão homologados ou certificados pela autoridade reguladora;
- carro só entra em uma autoestrada se a transação de pagamento para o proprietário da infraestrutura foi verificada;<sup>60</sup>
- carro só liga ou entra em uma autoestrada se as estradas que estiverem em sua autorização estiverem certificadas com infraestrutura necessária e não tiverem problemas de cobertura de sinal;
- carro só funciona em testes se a autorização for verificada;<sup>61</sup>
- carro só funciona se verificar autorização do seguro;
- carro só funciona se motorista não estiver embriagado;
- carro só funciona se motorista está atento;

---

60 Considerando a capacidade de comunicação do veículo e da disponibilização de altas velocidades, é possível pensar em um cenário em que uma infraestrutura baseada em *blockchain* possa ser utilizada para verificações de pagamento ou até para realizações de operações de cobrança.

61 O registro de certificação pode ser feito em uma infraestrutura baseada em *blockchain* que permite a verificação em tempo real de sua existência.

- carro só funciona se motorista possui autorização especial para guiá-lo;<sup>62</sup>
- carro ao longo da direção autônoma joga com motorista para garantir que este tem condições de assumir suas responsabilidades em caso necessidade;
- carro só funciona – ou só opera em certos trechos ou executa certas tarefas – se alguma atualização considerada crítica de seu software for realizada.

---

62 Mais uma vez, o registro de certificação do motorista pode ser feito em uma infraestrutura baseada em *blockchain*.



## CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu termos contato com um universo novo de conhecimento, cuja aplicação e cujos impactos na sociedade demandam tempo para serem amadurecidos e avaliados. Contudo, o debate sobre a regulação da IA no Brasil ainda reflete o que vem ocorrendo no mundo. O campo jurídico vem-se colocando, nesse primeiro momento, como cliente desse campo tecnológico, buscando inserir-se nele como um ator que também provê serviços inteligentes. Em alguma medida, buscando capitalizar a própria expectativa social e um pouco da experiência dos grandes provedores de serviços, como redes sociais e motores de busca.

O uso de tecnologias novas, como *blockchain*, Internet das Coisas, e a própria IA, ainda desafia muito, até porque essas próprias tecnologias e aplicações buscam espaço para se integrem de fato à sociedade e não serem substituídas.

Os veículos inteligentes autônomos, em certa medida, correm o mesmo risco: o de não terem seu mercado consumidor desenvolvido. Diferentemente do caso do *blockchain*, em que a própria ferramenta ainda tenta se mostrar viável, os veículos autônomos inteligentes têm sido objeto de investimentos mais relevantes há pelo menos uma década, principalmente das grandes montadoras. Com aplicações e benefícios mais evidentes, os veículos autônomos inteligentes seguem seu caminho de desenvolvimento, com o amadurecimento das tecnologias e das arquiteturas.

Paralelamente, considerando a necessidade de ver esses veículos sendo utilizados o mais rápido possível, ainda que experimentalmente ou sendo testados, faz com se seja necessário urgir com ações que viabilizem seu uso no Brasil.

Inicialmente, é preciso garantir a segurança jurídica para as atividades de pesquisa em curso no País, de forma a legitimá-las e incentivá-las. A segurança jurídica dar-se-á pela ratificação da emenda ao Tratado de Viena que permite o tráfego de veículos autônomos e pela viabilização da criação de um mercado securitário para esse tipo de veículos.

Contudo, também é necessário que se discutam e se garantam os padrões de segurança de funcionamento desses veículos. Uma primeira discussão é que a regulação disponível se volta para uma expectativa de desempenho humano. O funcionamento por máquinas, todavia, ensejaria

a criação de novos parâmetros de desempenho? Os próprios parâmetros para definir responsabilidades no acidente de trânsito válidos para humanos seriam os mesmos para os veículos autônomos inteligentes? A doutrina precisa avançar no amadurecimento dessa questão.

No que diz respeito à criação de mecanismos de transparência das ações que ocorrem em um algoritmo e na investigação de motivos para acidentes, é importante que se exijam determinados componentes nas arquiteturas dos veículos, tais como: as caixas-pretas ou *dataloggers*. Os registros das informações capturadas pelos sensores dos veículos que ensejaram processamento e atuação por parte dos algoritmos devem ser acessíveis, em um processo controlado e independente, se possível por uma autoridade competente, de forma padronizada.

Ainda quanto ao aspecto da transparência, ponto central das angústias quanto ao controle da IA, torna-se importante a exigência de registros de aprendizagem, ou *learning loggers*. Os registros de aprendizagem não precisam ser disponibilizados *onboard*, ou seja, dentro do veículo. São estruturas de dados que guardariam registros das competências e das habilidades dos algoritmos de controle dos veículos, incluindo seu desempenho nas etapas de testes e avaliação.

A proposta do *learning logger* ganha ainda mais efeito quando passa a ser uma das entradas exigíveis para a certificação de um produto, ou seja, a análise e a verificação dos registros de aprendizagem fariam parte das etapas para emissão de um Renavam, por exemplo.

Os processos de certificação e habilitação aplicáveis à indústria automotiva devem ser revistos a fim de incorporarem um modelo de certificação nacional, para que a autoridade competente possa emitir juízo sobre a real competência e o desempenho de um algoritmo.

Ainda no aspecto regulatório, é preciso avaliar a necessidade ou não de restringir o tráfego de veículos autônomos. Em razão das limitações tecnológicas e dos cenários de treinamento, entendemos que há requisitos de infraestrutura e sinalização que podem não ser atendidos por todas as vias públicas de uma localidade. Contudo, cenários específicos podem ser atendidos, ou o tráfego por rodovias específicas. Essa avaliação só tem condições de ser feita por autoridades locais, a fim de avaliar os riscos eventuais.

Sobre o aspecto da restrição, entendemos que a implementação de algoritmos que aprendam em tempo real, ou *on-line*, não deve ser permitida no contexto de veículos autônomos inteligentes, em face do risco imposto

pela falta de controle sobre o desempenho de um algoritmo desses. A aprendizagem desses componentes deve ser medida e avaliada por seus desenvolvedores, que somente os liberam para uso após o atingimento de metas mínimas de desempenho. Metas essas que posteriormente serão certificadas, ou recertificadas, por uma autoridade competente.

A viabilização da existência dos veículos autônomos no Brasil não passa apenas por aspectos jurídicos regulatórios. Há aspectos materiais importantes que devem ser objeto de investimento, seja público ou privado. O primeiro aspecto, e mais urgente, é a necessidade de captura de dados sobre as rodovias brasileiras. São dados em larga escala para que se possa ter casos suficientes para treinar os algoritmos nas condições brasileiras. Assim, considerando o treinamento das redes neurais ainda parte do desenvolvimento do carro, é entender que parte do ciclo de desenvolvimento dos veículos se dê em território nacional. Importa salientar, ainda, que massas de dados para treinamento não devam se confundir com massas de dados para certificação, ou seja, é importante que a autoridade competente para certificação do desempenho dos algoritmos inteligentes tenha quantidades de dados suficientes para validar todas as competências desenvolvidas nos veículos exigidas nas terras nacionais e para o nível de autonomia pretendido pela certificação.

Ainda sobre investimentos, considerando que grande parte do sistema de percepção de um veículo está associada ao seu sistema de posicionamento e ao processamento das imagens de duas câmeras, é de se reconhecer o alto nível de dependência de uma infraestrutura de sinalização horizontal e vertical, bem como de um sistema de localização de precisão (GPS).

Nesse aspecto, as alternativas verificadas levam a uma potencial dependência de cobertura dos serviços de telefonia. Isso é particularmente preocupante pois a regulação do serviço SMP não foi desenvolvida pensando na cobertura para funcionamento daquele tipo de aplicação. Assim, é importante verificar perante a Anatel a melhor alternativa de serviço ou regulação para que se tenha um serviço de localização satelital de alta precisão disponível para os veículos. Nesse mesmo contexto, importa registrar que a Anatel tem discutido o uso de faixas de frequência de 450 MHz para aplicações de Internet of Things (IoT). Contudo, é preciso verificar naquele órgão se, em razão das necessidades específicas de cobertura, não se trataria de outro tipo de serviço de telecomunicação com regulação própria.

É preciso que a doutrina avance e discuta as limitações e os impactos das tecnologias envolvidas na implementação de veículos autônomos. En-

quanto há a expectativa de que o motorista humano tenha uma visão de centenas de metros para decidir executar uma ultrapassagem segura, as tecnologias atualmente utilizadas têm alcance de apenas uma centena de metros. Em condições semelhantes, não poderia, então, o veículo autônomo inteligente realizar uma ultrapassagem em rodovia de mão dupla, por exemplo.

Conforme destacamos, os desafios ainda são grandes, e, por esse motivo, as perguntas são mais numerosas que as respostas. Assim, em face do atual nível de desenvolvimento, é importante que se desenvolva uma doutrina jurídica sobre essa regulação para que se possa avaliar e garantir que a atual tecnologia implementada nos veículos autônomos tenha efetiva segurança para seus usuários.

Considerando que os desafios identificados serão endereçados e que venhamos a ter carros autônomos inteligentes efetivamente circulando em nossas vias, propusemos um arquétipo analítico, quase uma taxonomia simplificada, para orientar um raciocínio investigativo, tentando mapear os diversos locais nos quais podem ser apresentados defeitos.

Por fim, considerando o franco desenvolvimento de arquiteturas de implementação de veículos autônomos inteligentes e a existência de um novo cenário tecnológico que possa servir aos órgãos de regulação e de *law enforcement*, propomos a ideia de implementação de diversas funcionalidades a fim de que situações práticas envolvendo a necessidade de aplicação da lei sobre esses veículos possam ocorrer. Cumpre lembrar que no novo cenário de veículos autônomos a decisão sobre os controles de atuação do veículo estará sob a gestão de um software. Ainda, o cenário de conectividade permite pensar na aplicação de determinados controles que não eram possíveis em um mundo analógico.

É importante, portanto, que a doutrina jurídica avance na discussão desses cenários a fim de que controles como os sugeridos possam ser implementados pelos fabricantes.

## REFERÊNCIAS

AB RAHMAN, N. H. *et al.* Forensic-by-design framework for cyber-physical cloud systems. *IEEE Cloud Computing*, Washington, DC, v. 3, n. 1, p. 50-59, 2016.

AMARAL, M. Conheça Cadu e CaRINA, os projetos de veículos autônomos no Brasil. *Techtudo*, Rio de Janeiro, 7 nov. 2012. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/11/conheca-cadu-e-carina-os-projetos-de-veiculos-autonomos-no-brasil.html>. Acesso em: 31 jul. 2018.

ANEESH, A. Global labor: algocratic modes of organization. *Sociological Theory*, Washington, DC, v. 27, n. 4, p. 347-370, Dec. 2009.

ARAGÃO, R. F. *Acidentes de trânsito: análise da prova pericial*. 5. ed. Campinas: Millennium, 2011.

AROCKIA PANIMALAR, S. *et al.* An overview of artificial intelligence. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Tamilnadu, v. 5, n. 2, p. 153-155, Feb. 2018.

AYRES, I.; SCHWARTZ, A. The no-reading problem in consumer contract law. *Stanford Law Review*, Stanford, v. 66, n. 3, Mar. 2014.

BADUE, C. *et al.* Self-driving cars: a survey. *arXiv.org*, Cornell University, Ithaca, NY, Oct. 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1901.04407v2>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BERNARDO, W. O. L. *Responsabilidade civil automobilística: por um sistema fundado na proteção à pessoa*. São Paulo: Alias, 2009.

BRADSHAW, T. Self-driving cars prove to be labour-intensive for humans. *Financial Times*, San Francisco, n. 2.840, 10 jul. 2017. Disponível em: <https://www.ft.com/content/36933cfc-620c-11e7-91a7-502f7ee26895>. Acesso em: 20 out. 2018.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. Inteligência artificial vai agilizar a tramitação de processos no STF. *Notícias STF*, Brasília, 30 maio 2018. Disponível em: <http://www.stf.jus.br/portal/cms/verNoticiaDetalhe.asp?idConteudo=380038>. Acesso em: 5 set. 2018.

CARDOSO, I. Carro autônomo atropelou Ana Maria Braga por freio não acionado. *Portal Terra*, São Paulo, 23 abr. 2013. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/tecnologia/eletronicos/carro-autonomo-atropelou-ana-maria-braga-por-freio-nao-acionado,f302a9d38573e310VgnVCM3000009acceb0aRCRD.html>. Acesso em: 20 out. 2018.

CARRO AUTÔNOMO DA UBER nos EUA causa primeira morte por atropelamento. *Folha de S. Paulo*, São Paulo, 19 mar. 2018. Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/03/mulher-morre-nos-eua-apos-ser-atropelada-por-carro-autonomo-da-uber.shtml>. Acesso em: 5 set. 2018.

CAVALIERI FILHO, S. *Programa de responsabilidade civil*. 6. ed. São Paulo: Malheiros, 2006.

ČERKA, P.; GRIGIENĖ, J.; SIRBIKYTĖ, G. Is it possible to grant legal personality to artificial intelligence software systems? *Computer Law & Security Review*, Amsterdam, v. 33, n. 5, p. 685-699, Oct. 2017.

CICUREL, R.; NICOLELIS, M. *O cérebro relativístico: como ele funciona e por que ele não pode ser simulado por uma máquina de Turing*. São Paulo: Kios Press, 2015.

COSTA, J. M. Os fundamentos da responsabilidade civil. *Revista Trimestral de Jurisprudência dos Estados*, São Paulo, v. 93, p. 29-52, 1991.

DANEZIS, G. *et al. Privacy and data protection by design – from policy to engineering*. Luxembourg: European Union Agency for Network and Information Security, 2015.

DANIEL, A. Defining the dilemmas of artificial intelligence. *Spectrum*, Cambridge, MA, Winter 2018. Disponível em: <https://spectrum.mit.edu/winter-2018/defining-the-dilemmas-of-artificial-intelligence/>. Acesso em: 1º jul. 2018.

DEMARCHE, C. F. *Responsabilidade civil em acidente de trânsito*. 2015. 44 p. Monografia (Graduação em Direito) – Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2015.

DIAS, M. A. *Sistema de hardware reconfigurável para navegação visual de veículos autônomos*. 2016. 142 p. Tese (Doutorado em Ciências da Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

DONEDA, D.; ALMEIDA, V. A. F. What is algorithm governance? *IEEE Internet Computing*, Piscataway, NJ, v. 20, n. 4, p. 60-63, July-Aug. 2016.

DOUGHERTY, C. *et al. Secure design patterns*. Technical report. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2009.

EXPOSTO À INTERNET, robô da Microsoft vira racista em 1 dia. *Veja*, São Paulo, 24 mar. 2016. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/tecnologia/exposto-a-internet-robo-da-microsoft-vira-racista-em-1-dia/>. Acesso em: 5 set. 2018.

FERNANDES, A. M. R. *Inteligência artificial: noções gerais*. Florianópolis: Visual Books, 2003.

FERNANDES, L. *et al. CaRINA intelligent robotic car: architectural design and applications*. *Journal of Systems Architecture*, Amsterdam, v. 60, n. 4, p. 372-392, Apr. 2014.

FRIDMAN, L. *et al. MIT autonomous vehicle technology study: large-scale deep learning based analysis of driver behavior and interaction with automation*. *CoRR – Computing Research Repository*, Cornell University, Ithaca, NY, Nov. 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1711.06976>. Acesso em: 13 jun. 2018.

GARTENBERG, C. Safety driver of fatal self-driving Uber crash was reportedly watching Hulu at time of accident. *The Verge*, New York, Jun. 22, 2018. Disponível em: <https://www.theverge.com/2018/6/22/17492320/safety-driver-self-driving-uber-crash-hulu-police-report>. Acesso em: 20 out. 2018.

GONÇALVES, C. R. *Direito civil brasileiro: contratos e atos unilaterais*. 8. ed. São Paulo: Saraiva, 2011. v. 3.

GUILBOT, M. Le véhicule « autonome » et les conditions juridiques du déploiement. *Riséo*, Colmar, n. 1, p. 49-84, 2018.

JAFFE, E. The first look at how Google's self-driving car handles city streets. *CityLab*, New York, April 28, 2014. Disponível em: <https://www.citylab.com/life/2014/04/first-look-how-googles-self-driving-car-handles-city-streets/8977/>. Acesso em: 20 out. 2018.

JANSEN, T.; CHAN, E. Safety homologation process for connected automated vehicles. In: ITS WORLD CONGRESS, 2017, Montreal. *Papers* [...]. Montreal: ITS America; ITS Canada, 2017. 8 p.

JOSSERAND, L. Evolução da responsabilidade civil. *Revista Forense*, São Paulo, n. 456, p. 52-63, jun. 1941.

KOVACH, S. Google quietly stopped publishing monthly accident reports for its self-driving cars. *Business Insider*, New York, 18 Jan. 2017. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/waymo-ends-publishing-self-driving-car-accident-reports-website-2017-1>. Acesso em: 20 out. 2018.

LIMA, A. *Culpa e risco*. 2. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1998.

LIMA, D. A. *et al.* Automated driving systems and their insertion in the Brazilian scenario: a test track proposal. *SAE International Journal of Transportation Safety*, Warrendale, PA, v. 1, n. 6, p. 39-54, 2018.

LOHMANN, M. F. Liability issues concerning self-driving vehicles. *European Journal of Risk Regulation*, Cambridge, v. 7, n. 2, p. 335-340, jun. 2016.

MACHADO, H. Algoritmos, regulação e governança: uma revisão de literatura. *Revista de Direito Setorial e Regulatório*, Brasília, v. 4, n. 1, p. 39-62, maio 2018.

MATIELO, F. Z. *Responsabilidade civil em acidentes de trânsito*. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2000.

NORVIG, P.; RUSSELL, S. *Inteligência artificial*. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

OLIVEIRA, M. G. S.; SARTORI, M. V. Responsabilidade civil em acidentes de trânsito e a possibilidade de aplicação da teoria do risco em prol da vítima. *Universitas*, Mogi Mirim, v. 5, n. 9, p. 81-105, jul./dez. 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Conselho Econômico e Social. Report of the sixty-eighth session of the Working Party on Road Traffic Safety. 17 abr. 2014. Disponível em: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp1/ECE-TRANS-WP1-145e.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Convention on Road Traffic*. Acceptance of Amendments to Articles 8 and 39 of the Convention. 6 out. 2015. Disponível em: <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2015/CN.529.2015.Reissued.06102015-Eng.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

OSÓRIO, F. S.; VIEIRA, R. *Sistemas híbridos inteligentes*. Trabalho apresentado no XIX Congresso da S.B.C. ENIA '99 – Encontro Nacional de Inteligência Artificial, Rio de Janeiro, jul. 1999. Disponível em: <http://osorio.wait4.org/oldsite/enia99/enia99.pdf>. Acesso em: 1º jul. 2018.

PADEN, B. *et al.* A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, Piscataway, NJ, v. 1, n. 1, p. 33-55, Mar. 2016.

PAGALLO, U. What robots want: autonomous machines, codes and new frontiers of legal responsibility. In: HILDEBRANDT, M.; GAAKEER, J. (eds.). *Human law and computer law: comparative perspectives*. Dordrecht: Springer, 2013. p. 47-65.

PARIZATTO, J. R. *Prática da responsabilidade civil*. 2. ed. Leme: Edipa, 2011.

PASQUALE, F. *Black box society: the secret algorithms that control money and information*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2015.

PEREIRA FILHO, L. T. Introdução/Apresentação – DPVAT: um seguro em evolução. In: *DPVAT: um seguro em evolução. O seguro DPVAT visto por seus administradores e pelos juristas*. Rio de Janeiro: Renovar, 2013.

RENDA, A. Ethics, algorithms and self-driving cars: a CSI of the 'trolley problem'. *CEPS Policy Insights*, Brussels, n. 2, Jan. 2018. Disponível em: [http://aei.pitt.edu/93153/1/PI\\_2018-02\\_Renda\\_TrolleyProblem\\_1.pdf](http://aei.pitt.edu/93153/1/PI_2018-02_Renda_TrolleyProblem_1.pdf). Acesso em: 20 out. 2018.

RIZZARDO, A. *A reparação nos acidentes de trânsito*. 13. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2014.

SAE INTERNATIONAL. Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems. 2016. Disponível em: [http://standards.sae.org/j3016\\_201401/](http://standards.sae.org/j3016_201401/). Acesso em: 16 jan. 2018.

SALES, D. O.; CORREA, D. O.; FERNANDES, L. C.; WOLF, D. F.; OSÓRIO, F. S. Adaptive finite state machine based visual autonomous navigation system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Amsterdam, v. 29, p. 152-162, Mar. 2014.

SAVIRIMUTHU, J. Online contract formation: taking technological infrastructure seriously. *University of Ottawa Law & Technology Journal*, Ottawa, v. 2, n. 1, p. 105-143, 2005.

SCHELLEKENS, M. Self-driving cars and the chilling effect of liability law. *Computer Law & Security Review*, Amsterdam, v. 31, n. 4, p. 506-517, ago. 2015.

SEIDL, R. Deep learning & autonomous vehicles. In: AUTOMATED VEHICLES SYMPOSIUM, 2017, San Francisco. *Proceedings* [...]. San Francisco: Association for Unmanned Vehicle Systems International, 2017. Disponível em: <http://www.automatedvehiclessymposium.org/avs2018/2017-highlights/2017-proceedings>. Acesso em: 5 abr. 2018.

SILVA, C. C. Responsabilidade por dano causado por veículo dirigido por terceiro. *Jus*, Teresina, maio 2017a. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/58174/responsabilidade-por-dano-causado-por-veiculo-dirigido-por-terceiro>. Acesso em: 2 abr. 2018.

SILVA, D. R. D. *Atores sintéticos em jogos sérios: uma abordagem baseada em psicologia organizacional*. 2009. 259 p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, L. A responsabilidade civil por acidentes de carros autônomos: uma análise sob a ótica das *smart cities*. *Revista do Tribunal Regional Federal da Primeira Região*, Brasília, v. 29, n. 7/8, p. 45-52, jul./ago. 2017b.

SILVA, W. M. *Da responsabilidade civil automobilística*. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1983.

SOMMERVILLE, I. *Engenharia de software*. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

STOCO, R. *Responsabilidade civil e sua interpretação jurisprudencial*. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1999.

SURDEN, H. Machine learning and law. *Washington Law Review*, Seattle, v. 89, n. 1, p. 87-115, 2014.

T. S. How does a self-driving car work? Self-driving cars combine existing driver aids with extra software and sensors. *The Economist*, London, May 12th 2015. Disponível em: <https://www.economist.com/the-economist-explains/2015/05/12/how-does-a-self-driving-car-work>. Acesso em: 1º jul. 2018.

TUTT, A. An FDA for algorithms. *Administrative Law Review*, Washington, DC, v. 69, n. 1, p. 83-123, 2017.

UNIÃO EUROPEIA. Parlamento Europeu. Resolução do Parlamento Europeu, de 16 de fevereiro de 2017, que contém recomendações à Comissão sobre disposições de Direito Civil sobre Robótica [2015/2103 (INL)]. 2017. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P8-TA-2017-0051+0+DOC+XML+V0//PT>. Acesso em: 20 out. 2018.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. National Highway Traffic Safety Administration. *Federal Automated Vehicles Policy: accelerating the next revolution in roadway safety*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2016. Disponível em: <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>. Acesso em: 1º jul. 2018.

VENOSA, S. S. *Direito civil: obrigações e responsabilidade civil*. 17. ed. São Paulo: Atlas, 2017. (Coleção Direito Civil, v. 2).

VERUGGIO, G. The EURON roboethics roadmap. *In: IEEE-RAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANOID ROBOTS, 6., 2006, Genova. Proceedings [...].* Genova: IEEE-RAS, 2006. p. 612-617.

VLADECK, D. Machines without principals: liability rules and artificial intelligence. *Washington Law Review, Seattle, v. 89, n. 1, p. 117-150, Mar. 2014.*

WACHENFELD, W.; WINNER, H. Do autonomous vehicles learn? *In: MAURER, M. et al. (eds.). Autonomous driving: technical, legal and social aspects.* Berlin: Springer, 2016.

WAYMO. Why is Waymo working on fully self-driving cars? 2018. Disponível em: <https://waymo.com/faq/>. Acesso em: 31 jul. 2018.

WINKLE, T. Safety benefits of automated vehicles: extended findings from accident research for development, validation and testing. *In: MAURER, M. et al. (eds.). Autonomous driving: technical, legal and social aspects.* Berlin: Springer, 2016.

ZHOU, S.; GONG, J.; XIONG, G.; CHEN, H.; IAGNEMMA, K. Road detection using support vector machine based on online learning and evaluation. *In: IEEE INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2010, San Diego, CA. Proceedings [...].* San Diego: IEEE, 2010. p. 256-261. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5548086>. Acesso em: 20 out. 2018.



*E-book* produzido pela  
Escola Superior do Ministério Público da União  
e composto em Oscine e Unvers

Brasília-DF • 2020