

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DIEGO RODRIGO LOPES

IZABELLA FERNANDA CESAR FRADE

PARÂMETROS DE DECISÃO DA IA E ATRIBUIÇÃO DE
RESPONSABILIDADE CIVIL EM ACIDENTES DE VEÍCULOS AUTONOMOS: UM
ESTUDO EM CONTEXTO URBANO BRASILEIRO

CURITIBA

2025

DIEGO RODRIGO LOPES
IZABELLA FERNANDA CESAR FRADE

PARÂMETROS DE DECISÃO DA IA E ATRIBUIÇÃO DE RESPONSABILIDADE
CIVIL EM ACIDENTES DE VEÍCULOS AUTONOMOS: UM ESTUDO EM
CONTEXTO URBANO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Ângela Zatti
Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). _____

Curitiba, 25 de Agosto de 2025.

TERMO DE APROVAÇÃO

**DIEGO RODRIGO LOPES
IZABELLA FERNANDA CESAR FRADE**

PARÂMETROS DE DECISÃO DA IA E ATRIBUIÇÃO DE RESPONSABILIDADE CIVIL EM ACIDENTES DE VEÍCULOS AUTONOMOS: UM ESTUDO EM CONTEXTO URBANO BRASILEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Automotiva.

Prof(a). Dr(a). Luis Henrique Assumpção Lolis
Orientador(a) – Departamento __DELT __, INSTITUIÇÃO: UFPR

Prof(a). Dr(a): Ângela Zatti
INSTITUIÇÃO : UTP

Curitiba, 25 de Agosto de 2025.

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que se empenham no esclarecimento de discussões que tangem o limiar entre homem e máquina, àqueles que mantêm a ética e a responsabilidade como base para uma sociedade mais justa, humana e consciente.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos e familiares que suportaram e apoiaram a execução deste trabalho. Aos educadores e discentes do curso de pós-graduação de Engenharia Automotiva da UFPR, que contribuíram na construção do embasamento científico e legislativo, base para a execução deste trabalho. À Professora Orientadora, que com experiência no assunto, instruiu e guiou a construção desta tese. À todos que contribuíram de forma direta ou indireta na conclusão deste trabalho.

A IA é uma maravilha moderna que nos desafia a repensar nossa relação com a máquina e a inteligência. (John McCarthy.)

RESUMO

O presente estudo à respeito da atribuição de responsabilidade civil no que tange possíveis acidentes com o uso de inteligência artificial em veículos autônomos evidencia a necessidade de um equilíbrio entre inovação e segurança jurídica. A responsabilidade tende a recair sobre fabricantes, dada a assimetria informacional e a tradição consumerista brasileira. A implementação das propostas facilitaria a integração segura dos veículos autônomos (VAs), potencializando a redução de acidentes, que hoje representam no Brasil 33 mil mortes/ano no Brasil, sem desincentivar o desenvolvimento tecnológico. Pesquisas futuras devem focar em explicabilidade algorítmica e testes contextualizados, garantindo que os parâmetros de decisão da IA alinhem-se aos valores jurídicos e éticos nacionais.

Palavras-chave: Inovação; Veículos Autônomos; Responsabilidade Civil; Inteligência Artificial; Segurança

ABSTRACT

The study of the civil responsibility attribution on accidents caused by artificial intelligence on autonomous vehicles highlights the need for a balance between innovation and legal certainty. Responsibility tends to fall on manufacturers, given the informational asymmetry and Brazil's consumer protection tradition. Implementing the proposed measures would facilitate the safe integration of autonomous vehicles (AVs), potentially reducing accidents, that represents 33,000 deaths per year in Brazil, without discouraging technological development. Future research should focus on algorithmic explainability and context-specific testing, ensuring that AI decision-making parameters align with national legal and ethical values.

Keywords: Innovation; Autonomous vehicles (AVs); Liability; Artificial intelligence (AI); Safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de Parâmetros de Decisão em Veículos Autônomos.....	34
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tendência de Atribuição de Responsabilidade Civil por Nível de Autonomia.....	31
Gráfico 2 – Comparativo Internacional de Regulamentação para Veículos Autônomos.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 PROBLEMA.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	20
1.2.1 Objetivo geral.....	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 JUSTIFICATIVA.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1 VEÍCULOS AUTÔNOMOS E NÍVEIS DE AUTONOMIA.....	23
2.2 PARÂMETROS DE DECISÃO DA IA EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS.....	26
2.2.1 Algoritmos de Mitigação de Colisão.....	26
2.2.2 Sistemas de Percepção e Tomada de Decisão.....	27
2.2.3 Atualizações OTA (Over-the-Air) e suas Implicações.....	28
2.2.4 Dilemas Éticos na Programação de Veículos Autônomos.....	28
2.3 RESPONSABILIDADE CIVIL NO ORDENAMENTO JURÍDICO BRASILEIRO.....	29
2.3.1 Conceitos Fundamentais de Responsabilidade Civil.....	29
2.3.2 Responsabilidade Civil Objetiva e Subjetiva Aplicada a Veículos Autônomos.....	30
2.3.3 Código Civil, CDC e CTB Aplicados a Veículos Autônomos.....	31
2.3.4 Jurisprudência Brasileira e Casos Relevantes.....	32
2.4 LEGISLAÇÕES INTERNACIONAIS SOBRE VEÍCULOS AUTÔNOMOS.....	32
2.4.1 Modelos Regulatórios nos EUA.....	33
2.4.2 Abordagem da União Europeia.....	33
2.4.3 Análise Comparativa com o Contexto Brasileiro.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	35
3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	36
3.3 ESTUDOS DE CENÁRIOS HIPOTÉTICOS.....	37
3.4 ANÁLISE DE DECISÕES JUDICIAIS.....	37
3.5 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS.....	38
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	39
4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE DECISÃO E RESPONSABILIDADE CIVIL.....	39
4.1.1 Correlação entre Parâmetros Técnicos e Atribuição de Responsabilidade.....	39
4.1.2 Cenários de Acidentes e suas Implicações Jurídicas.....	40

4.1.3 Impacto das Atualizações de Software na Responsabilização.....	41
4.2 PROPOSTAS DE ADEQUAÇÃO NORMATIVA.....	42
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS.....	55
APÊNDICE B - CENÁRIOS HIPOTÉTICOS DE ACIDENTES COM VEÍCULOS	
AUTÔNOMOS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O advento dos veículos autônomos representa uma das mais significativas transformações tecnológicas do século XXI, prometendo revolucionar não apenas a mobilidade urbana, mas também diversos aspectos da vida em sociedade. No contexto brasileiro, onde os centros urbanos enfrentam desafios crescentes relacionados à mobilidade, segurança viária e sustentabilidade, a introdução gradual dessa tecnologia desperta tanto expectativas quanto preocupações. A integração de sistemas de Inteligência Artificial (IA) capazes de tomar decisões complexas em frações de segundo traz consigo um novo paradigma para o direito, especialmente no que tange à responsabilidade civil em casos de acidentes.

Os veículos autônomos são equipados com uma sofisticada combinação de sensores, câmeras, radares, sistemas de GPS e, principalmente, algoritmos de IA que processam essas informações para tomar decisões de condução. Esses sistemas são programados para interpretar o ambiente ao redor, identificar obstáculos, reconhecer sinalizações e, com base nesses dados, determinar ações como acelerar, frear ou desviar. A complexidade desses parâmetros de decisão, muitas vezes opacos até mesmo para seus desenvolvedores, cria um cenário jurídico desafiador quando ocorrem acidentes.

No Brasil, o ordenamento jurídico atual não foi concebido considerando a existência de veículos capazes de tomar decisões autônomas. O Código Civil, o Código de Defesa do Consumidor (CDC) e o Código de Trânsito Brasileiro (CTB)

estabelecem princípios e normas para a atribuição de responsabilidade civil em acidentes convencionais, mas apresentam lacunas significativas quando aplicados a cenários envolvendo veículos autônomos. A responsabilidade civil objetiva, baseada na teoria do risco, e a responsabilidade subjetiva, fundamentada na culpa, precisam ser reinterpretadas à luz dessa nova realidade tecnológica.

A questão central que emerge desse contexto é: como os parâmetros de decisão da IA influenciam a configuração de responsabilidade civil em acidentes envolvendo veículos autônomos? Quando um algoritmo de mitigação de colisão opta por uma trajetória específica em uma situação de emergência, quem deve ser responsabilizado pelos danos resultantes? O fabricante do veículo, o desenvolvedor do software, o proprietário ou o ocupante que poderia assumir o controle? E como as atualizações remotas (Over the-Air - OTA), que podem modificar substancialmente o comportamento do veículo após sua aquisição, afetam essa equação?

Este trabalho busca analisar essas questões no contexto urbano brasileiro, considerando as particularidades de nossas cidades, nossa legislação e nossa cultura jurídica. Para isso, mapeia os principais parâmetros de decisão em sistemas autônomos de níveis 3 a 5, sintetiza as normas brasileiras aplicáveis e as compara com legislações-modelo internacionais, avalia cenários hipotéticos e analisa decisões judiciais relevantes, culminando com propostas de recomendações técnico-jurídicas para o alinhamento entre engenharia de software, regulação e práticas de seguro.

A relevância deste estudo reside na necessidade de preparar o sistema jurídico brasileiro para a inevitável integração dos veículos autônomos em nossa sociedade. Ao compreender como os parâmetros técnicos de decisão da IA interagem com os princípios jurídicos de responsabilização, podemos contribuir para a criação de um ambiente regulatório que promova tanto a inovação tecnológica quanto a segurança jurídica, protegendo os direitos dos cidadãos e oferecendo clareza para fabricantes, desenvolvedores e seguradoras.

Nas seções seguintes, será apresentado o problema de pesquisa em maior detalhamento, os objetivos gerais e específicos que norteiam este trabalho, a justificativa acadêmica e social para sua realização, seguidos por uma revisão abrangente da literatura sobre veículos autônomos, parâmetros de decisão da IA, responsabilidade civil no ordenamento jurídico brasileiro e legislações internacionais relevantes. A metodologia utilizada, que consiste em avaliação explanatória de caráter científico, avaliação de cenários hipotéticos e investigação de decisões judiciais e

jurisprudências no cenário brasileiro será detalhada, para embasamento dos resultados obtidos, também posteriormente demonstrados.

1.1 PROBLEMA

A integração de veículos autônomos no contexto urbano brasileiro apresenta um desafio jurídico fundamental: como atribuir responsabilidade civil em acidentes envolvendo esses veículos, considerando que as decisões são tomadas por sistemas de Inteligência Artificial com parâmetros complexos e, muitas vezes, opacos? Este problema se torna ainda mais relevante quando analisamos as particularidades do ordenamento jurídico brasileiro e as características específicas da mobilidade urbana no país.

O cerne da questão reside na natureza dos parâmetros de decisão implementados nos sistemas de IA dos veículos autônomos. Esses parâmetros determinam como o veículo responderá em diversas situações, desde condições normais de tráfego até cenários de emergência onde colisões são inevitáveis. Algoritmos de mitigação de colisão, por exemplo, são programados para escolher trajetórias que minimizem danos em situações críticas, mas essas escolhas envolvem julgamentos complexos que tradicionalmente seriam feitos por humanos.

No ordenamento jurídico brasileiro, a responsabilidade civil em acidentes de trânsito convencionais é regulada principalmente pelo Código Civil (Lei nº 10.406/2002), pelo Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078/1990) e pelo Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.503/1997). Esses diplomas legais estabelecem princípios e normas para a atribuição de responsabilidade com base em conceitos como culpa, dolo, responsabilidade objetiva e teoria do risco. No entanto, quando aplicados a veículos autônomos, esses conceitos tradicionais enfrentam limitações significativas.

A primeira limitação diz respeito à determinação do agente responsável. Em veículos convencionais, o condutor é geralmente o principal responsável por acidentes decorrentes de falhas humanas. Em veículos autônomos, especialmente aqueles de níveis 4 e 5 de autonomia, o papel do condutor é minimizado ou eliminado, transferindo a tomada de decisões para o sistema de IA. Isso levanta questões sobre quem deve ser responsabilizado: o fabricante do veículo, o desenvolvedor do software, o proprietário que optou por utilizar a tecnologia, ou mesmo o ocupante que poderia, em teoria, assumir o controle em situações de emergência?

A segunda limitação está relacionada à natureza dos parâmetros de decisão da IA. Algoritmos de aprendizado de máquina, especialmente aqueles baseados em redes neurais profundas, podem tomar decisões por meio de processos que não são facilmente explicáveis ou previsíveis, o chamado problema da "caixa preta" da IA. Como atribuir responsabilidade quando não é possível determinar com precisão por que o sistema tomou determinada decisão? Essa opacidade algorítmica desafia princípios fundamentais do direito, como a necessidade de estabelecer nexo causal claro entre ação e dano.

A terceira limitação concerne às atualizações remotas (Over-the-Air - OTA) que podem modificar substancialmente o comportamento do veículo após sua aquisição. Se um acidente ocorre após uma atualização que alterou os parâmetros de decisão do sistema, como determinar se a responsabilidade recai sobre o estado anterior ou posterior do software? E se a atualização foi opcional, mas o proprietário optou por não a instalar, como isso afeta a atribuição de responsabilidade?

No contexto urbano brasileiro, essas questões ganham contornos específicos devido às características de nossas cidades. A infraestrutura viária frequentemente precária, a sinalização inconsistente, o comportamento imprevisível de pedestres e ciclistas, e a presença de veículos não autorizados ou em condições irregulares criam um ambiente particularmente desafiador para sistemas autônomos. Como os parâmetros de decisão da IA, muitas vezes desenvolvidos e testados em contextos urbanos de países desenvolvidos, se adaptam a essa realidade? E como essa adaptação (ou falta dela) influencia a atribuição de responsabilidade em caso de acidentes?

Além disso, o Brasil possui uma tradição jurídica que enfatiza a proteção do consumidor e a responsabilidade objetiva em relações de consumo, conforme estabelecido pelo CDC. Isso sugere uma tendência a responsabilizar fabricantes e desenvolvedores por acidentes envolvendo veículos autônomos. No entanto, essa abordagem pode desencorajar a inovação e a adoção de tecnologias que, apesar de imperfeitas, poderiam reduzir significativamente o número total de acidentes e fatalidades no trânsito.

Diante desse cenário complexo, a pergunta central que este trabalho busca responder é: "Qual é o impacto dos parâmetros de decisão da Inteligência Artificial (e.g. algoritmos de mitigação de colisão e atualizações OTA) na configuração de

responsabilidade civil objetiva e subjetiva em acidentes envolvendo veículos autônomos em áreas urbanas brasileiras?"

Esta questão não é meramente acadêmica ou especulativa. À medida que veículos com níveis crescentes de autonomia começam a circular em vias brasileiras, o sistema jurídico precisará estar preparado para lidar com os inevitáveis acidentes e litígios resultantes. A falta de clareza sobre como os parâmetros de decisão da IA influenciam a atribuição de responsabilidade pode resultar em insegurança jurídica, decisões judiciais inconsistentes e obstáculos ao desenvolvimento e adoção dessa tecnologia potencialmente transformadora.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar como variações nos parâmetros de decisão dos sistemas de Inteligência Artificial de veículos autônomos influenciam a atribuição de responsabilidade civil (objetiva e subjetiva) em acidentes ocorridos em contexto urbano no Brasil. Esta análise busca estabelecer correlações entre os aspectos técnicos da programação desses veículos e as implicações jurídicas resultantes, considerando o ordenamento jurídico brasileiro e suas particularidades.

1.2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, este trabalho se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

1. Mapear os principais parâmetros de decisão em sistemas autônomos de níveis 3 a 5, como limiar de frenagem de emergência, escolha de trajetória de mitigação, sistemas de percepção e reconhecimento de objetos, e protocolos de atualizações remotas (OTA). Este mapeamento visa identificar como esses parâmetros técnicos influenciam o comportamento do veículo em situações críticas e potencialmente geradoras de acidentes.

2. Sintetizar as normas brasileiras aplicáveis à responsabilidade civil em acidentes de trânsito, especificamente o Código Civil, o Código de Defesa do Consumidor e o Código de Trânsito Brasileiro, e compará-las com legislações-modelo internacionais, como as dos Estados Unidos e da União Europeia. Esta síntese permitirá identificar lacunas regulatórias e possíveis caminhos para a adaptação do ordenamento jurídico brasileiro à realidade dos veículos autônomos.

3. Avaliar, por meio de estudo de cenários hipotéticos e análise de decisões judiciais existentes, como diferentes parametrizações de IA resultam em enquadramento de culpa objetiva ou subjetiva. Esta avaliação considerará situações específicas do contexto urbano brasileiro, como infraestrutura precária, sinalização inconsistente e comportamento imprevisível de outros agentes de trânsito.

4. Propor recomendações técnico-jurídicas para o alinhamento entre engenharia de software dos veículos autônomos, regulação e práticas de seguro, visando maximizar a segurança viária e proporcionar maior clareza na atribuição de responsabilidade em acidentes. Estas recomendações buscarão equilibrar a proteção dos direitos dos cidadãos com o incentivo à inovação tecnológica e à adoção de sistemas que possam reduzir o número total de acidentes e fatalidades no trânsito brasileiro.

Estes objetivos específicos foram formulados de modo a abordar as diferentes dimensões do problema de pesquisa, integrando aspectos técnicos, jurídicos, éticos e sociais. Ao cumpri-los, este trabalho pretende contribuir para o avanço do conhecimento na interseção entre Direito e Tecnologia, oferecendo subsídios para legisladores, fabricantes, desenvolvedores, seguradoras e operadores do direito que enfrentarão os desafios da mobilidade autônoma no Brasil.

1.3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa sobre parâmetros de decisão da IA e atribuição de responsabilidade civil em acidentes de veículos autônomos no contexto urbano brasileiro justifica-se por razões científicas e sociais de significativa relevância, especialmente considerando o momento de transição tecnológica que vivenciamos.

Do ponto de vista científico, este trabalho preenche uma lacuna importante na literatura jurídica e tecnológica brasileira. Enquanto existe uma produção crescente sobre veículos autônomos em países como Estados Unidos, Alemanha e Japão, pioneiros no desenvolvimento e implementação dessa tecnologia, os estudos no contexto brasileiro ainda são escassos e frequentemente limitados a aspectos isolados do problema (PINHEIRO, Guilherme Pereira; BORGES, Maria Ruth; MELLO, Flávio Luís de. Danos envolvendo veículos autônomos e a responsabilidade civil do fornecedor. *Revista Brasileira de Direito Civil*, v. 21, p. 247-267, 2019). A originalidade desta pesquisa reside na integração de conhecimentos de Engenharia de Software, Ética em IA e Direito da Tecnologia, criando bases sólidas para a compreensão das

complexas interações entre parâmetros técnicos de decisão e suas implicações jurídicas.

A interdisciplinaridade é outro aspecto que justifica cientificamente este estudo. Os veículos autônomos representam um campo onde engenharia, computação, direito, ética e políticas públicas se entrelaçam de maneira indissociável. Ao abordar como os parâmetros de decisão da IA influenciam a atribuição de responsabilidade civil, este trabalho contribui para o desenvolvimento de uma linguagem comum entre essas diferentes áreas do conhecimento, facilitando o diálogo entre especialistas e a construção de soluções integradas.

Além disso, a pesquisa contribui para o avanço teórico em um campo emergente do direito: a responsabilidade por danos causados por sistemas autônomos. Os conceitos tradicionais de culpa, dolo, nexo causal e responsabilidade objetiva precisam ser reinterpretados à luz das novas tecnologias, e este trabalho oferece subsídios para essa reinterpretação no contexto específico do ordenamento jurídico brasileiro.

Do ponto de vista social, a justificativa para esta pesquisa é igualmente robusta. O Brasil registra anualmente cerca de 33 mil mortes no trânsito, além de centenas de milhares de feridos, com um custo econômico e social estimado em dezenas de bilhões de reais (Organização Mundial da Saúde, 2018 e Observatório Nacional de Segurança Viária, 2023). Veículos autônomos têm o potencial de reduzir esses números, uma vez que eliminam fatores humanos como distração, fadiga, embriaguez e imprudência, responsáveis pela maioria dos acidentes. No entanto, para que essa tecnologia seja implementada de maneira segura e responsável, é fundamental que existam marcos regulatórios claros, especialmente no que diz respeito à atribuição de responsabilidade em caso de acidentes.

A clareza na atribuição de responsabilidade civil é essencial para proporcionar segurança jurídica tanto para usuários quanto para fabricantes e desenvolvedores. Usuários precisam saber quais são seus direitos em caso de acidentes envolvendo veículos autônomos, enquanto fabricantes e desenvolvedores necessitam de um ambiente regulatório previsível para investir em pesquisa, desenvolvimento e implementação dessa tecnologia no Brasil. A indefinição jurídica pode resultar em litígios prolongados, decisões judiciais inconsistentes e, em última análise, retardar a adoção de uma tecnologia potencialmente salvadora de vidas.

Além disso, a pesquisa tem implicações diretas para o setor de seguros, que precisará adaptar seus modelos de negócio e cálculo de risco para a realidade dos veículos autônomos. Compreender como os parâmetros de decisão da IA influenciam a atribuição de responsabilidade é fundamental para o desenvolvimento de produtos de seguro adequados, com precificação justa e cobertura apropriada.

Por fim, este trabalho contribui para o debate sobre políticas públicas de mobilidade urbana inteligente no Brasil. À medida que cidades brasileiras buscam soluções para problemas crônicos de congestionamento, poluição e acidentes, os veículos autônomos emergem como uma alternativa promissora, especialmente quando integrados a sistemas de transporte público e compartilhado. No entanto, a implementação bem-sucedida dessas soluções depende de um arcabouço regulatório que equilibre inovação, segurança e justiça na atribuição de responsabilidades.

Em síntese, preencher esta lacuna de conhecimento é fundamental para integrar saberes de diferentes áreas, criar bases sólidas para legislação eficaz, contratos de seguro e projetos de sistemas autônomos que tornem mais transparente e justa a atribuição de responsabilidade em acidentes. Socialmente, este trabalho contribuirá para a segurança pública, oferecerá segurança jurídica a fabricantes e usuários e orientará políticas de fomento à mobilidade inteligente no Brasil, preparando o país para os desafios e oportunidades da revolução da mobilidade autônoma.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VEÍCULOS AUTÔNOMOS E NÍVEIS DE AUTONOMIA

A evolução dos veículos autônomos representa um dos mais significativos avanços tecnológicos do século XXI, transformando não apenas a indústria automobilística, mas também os paradigmas de mobilidade urbana e segurança viária. Para compreender adequadamente os desafios jurídicos relacionados à responsabilidade civil nesses veículos, é fundamental estabelecer uma clara definição dos níveis de autonomia e das tecnologias envolvidas.

A Society of Automotive Engineers (SAE) estabeleceu uma classificação internacionalmente aceita que divide a autonomia veicular em seis níveis, do 0 ao 5. Esta taxonomia, detalhada na norma SAE J3016, tornou-se referência para reguladores, fabricantes e pesquisadores em todo o mundo, incluindo o Brasil. (SAE

INTERNATIONAL. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. J3016_202104. 2021).

No Nível 0 (Sem Automação), o condutor humano realiza todas as tarefas de condução, mesmo quando assistido por sistemas de alerta ou intervenção momentânea. O Nível 1 (Assistência ao Condutor) caracteriza-se pela presença de sistemas que auxiliam o condutor no controle de direção ou aceleração/frenagem, como controle de cruzeiro adaptativo ou assistência de permanência em faixa. No Nível 2 (Automação Parcial), o veículo pode realizar simultaneamente funções de direção e aceleração/frenagem em cenários específicos, mas o condutor deve permanecer engajado e monitorar o ambiente constantemente.

A transição para o Nível 3 (Automação Condicional) marca um ponto crucial, pois o sistema assume todas as tarefas de condução sob condições específicas, permitindo que o condutor desvie sua atenção temporariamente, mas permanecendo pronto para retomar o controle quando solicitado. No Nível 4 (Alta Automação), o veículo realiza todas as tarefas de condução em domínios operacionais específicos, mesmo se o condutor não responder apropriadamente a uma solicitação de intervenção. Finalmente, no Nível 5 (Automação Completa), o sistema realiza todas as tarefas de condução em quaisquer condições que um condutor humano seria capaz de gerenciar.

No contexto brasileiro, a implementação de veículos autônomos enfrenta desafios particulares relacionados à infraestrutura viária, condições de tráfego e aspectos regulatórios. Conforme apontado por Vita e Silva (2021), o Brasil ainda carece de uma legislação específica para veículos autônomos, o que cria incertezas jurídicas para fabricantes, desenvolvedores e potenciais usuários. Atualmente, os veículos em circulação no país concentram-se apenas nos níveis 1 e 2, devido a ser considerado infração de trânsito dirigir sem as mãos no volante, de acordo com o Art. 252, inciso V do CTB, o que torna irregular o uso dos níveis 3, 4 e 5.

Os veículos autônomos são equipados com uma complexa integração de sensores, processadores e atuadores. Os principais componentes incluem (NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety. U.S. Department of Transportation, 2017):

- 1. Sensores de percepção:** Câmeras, radares, lidars (Light Detection and Ranging), sensores ultrassônicos e infravermelhos que captam informações do ambiente.

2. Unidades de processamento: Computadores de bordo com alta capacidade de processamento que executam algoritmos de IA para interpretar dados dos sensores e tomar decisões.

3. Sistemas de localização: GPS de alta precisão, frequentemente complementados por mapas HD e sistemas inerciais para posicionamento preciso.

4. Atuadores: Sistemas eletromecânicos que controlam direção, aceleração, frenagem e outras funções do veículo.

5. Interfaces homem-máquina: Displays, alertas sonoros e hápticos que facilitam a comunicação entre o veículo e o ocupante.

6. Conectividade: Sistemas V2X (Vehicle-to-Everything) que permitem comunicação com outros veículos, infraestrutura e pedestres.

A integração desses componentes é gerenciada por sofisticados sistemas de software que implementam algoritmos de percepção, planejamento de trajetória, tomada de decisão e controle. Esses algoritmos, especialmente aqueles baseados em aprendizado de máquina e redes neurais profundas, constituem o cerne dos parâmetros de decisão que serão analisados neste trabalho.

Pinheiro, Borges e Mello (2019) destacam que a responsabilidade civil pelo fato do produto torna-se um dos principais desafios a ser enfrentado pelos fabricantes de veículos autônomos, especialmente considerando a complexidade dos sistemas embarcados e a dificuldade em prever todas as possíveis situações de trânsito. Esta complexidade é amplificada no contexto urbano brasileiro, caracterizado por heterogeneidade de veículos, infraestrutura irregular e comportamento frequentemente imprevisível de outros agentes de trânsito.

Costa (2021) observa que a responsabilidade civil em acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos no Brasil precisa ser analisada à luz das particularidades do ordenamento jurídico nacional, especialmente considerando a tradição de responsabilidade objetiva estabelecida pelo Código de Defesa do Consumidor. A autora argumenta que a mera importação de modelos regulatórios estrangeiros pode não ser adequada às especificidades brasileiras.

A evolução dos veículos autônomos no Brasil também está intrinsecamente ligada a políticas públicas de mobilidade urbana e segurança viária. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (WHO – World Health Organization. Global status report on road safety 2018. Geneva: WHO, 2018.), o Brasil registra aproximadamente 33 mil mortes anuais no trânsito, com custos econômicos e sociais estimados em

dezenas de bilhões de reais. A implementação responsável de veículos autônomos tem o potencial de reduzir significativamente esses números, uma vez que a maioria dos acidentes é causada por falhas humanas.

No entanto, para que esse potencial seja realizado, é fundamental compreender como os parâmetros de decisão implementados nesses veículos interagem com o ambiente urbano brasileiro e como essa interação influencia a atribuição de responsabilidade civil em caso de acidentes. Esta compreensão requer uma análise detalhada dos algoritmos e sistemas que governam o comportamento dos veículos autônomos, tema que será abordado na próxima seção.

2.2 PARÂMETROS DE DECISÃO DA IA EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Os parâmetros de decisão da Inteligência Artificial em veículos autônomos constituem o conjunto de algoritmos, regras e valores que determinam como o veículo interpreta o ambiente e escolhe ações em diferentes situações. Esses parâmetros são fundamentais para compreender a atribuição de responsabilidade civil, pois representam as decisões que anteriormente seriam tomadas por condutores humanos.

2.2.1 Algoritmos de Mitigação de Colisão

Um dos aspectos mais críticos e controversos dos parâmetros de decisão em veículos autônomos são os algoritmos de mitigação de colisão. Estes algoritmos determinam como o veículo responderá em situações de emergência onde uma colisão é inevitável ou altamente provável. Wang *et al.* (2023) propõem um método de planejamento de movimento para veículos autônomos em situações de emergência, utilizando o algoritmo de Controle Preditivo de Modelo (MPC) para gerar trajetórias que minimizem a gravidade de colisões inevitáveis.

O estudo de Wang *et al.* (2023) demonstra que, quando a evitação completa é impossível, o sistema pode incorporar a gravidade potencial do acidente e campos potenciais artificiais ao objetivo do controlador para alcançar a menor gravidade de colisão possível. Esta abordagem levanta questões jurídicas significativas: se o algoritmo "escolhe" colidir com um objeto em vez de outro para minimizar danos, quem é responsável por essa escolha? O fabricante que implementou o algoritmo, o desenvolvedor do software, ou o proprietário que optou por utilizar o veículo com essa tecnologia?

Hevelke e Nida-Rümelin (2015) abordam essa questão de uma perspectiva ética, discutindo se devemos projetar a responsabilidade civil para fabricantes de automóveis de forma a auxiliar o desenvolvimento e aprimoramento de veículos autônomos. Os autores analisam a preocupação de Patrick Lin de que qualquer ganho de segurança derivado da introdução de carros autônomos constituiria uma troca em vidas humanas, um dilema ético que tem implicações diretas na atribuição de responsabilidade civil.

No contexto brasileiro, Galvão (2023) analisa a responsabilidade civil do fornecedor em acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos sob a perspectiva da Smart Mobility. A autora argumenta que os parâmetros de decisão implementados nos algoritmos de mitigação de colisão devem ser considerados na análise da responsabilidade objetiva do fornecedor, conforme estabelecido pelo Código de Defesa do Consumidor.

2.2.2 Sistemas de Percepção e Tomada de Decisão

Os sistemas de percepção em veículos autônomos são responsáveis por captar e interpretar informações do ambiente, incluindo a detecção e classificação de objetos, a compreensão da sinalização viária e a previsão do comportamento de outros agentes. A precisão e confiabilidade desses sistemas são necessária para garantia de segurança, e suas limitações podem ter implicações significativas para a atribuição de responsabilidade civil.

Sensores como câmeras, radares e lidars têm capacidades e limitações específicas. Câmeras oferecem rica informação visual, mas são sensíveis a condições de iluminação e intempéries. Radares funcionam bem em condições adversas, mas têm resolução limitada. Lidars proporcionam mapeamento tridimensional preciso, mas são caros e podem ser afetados por chuva ou neblina. A fusão desses sensores busca compensar as limitações individuais, mas ainda existem cenários onde a percepção pode ser comprometida. (PADEN, B. et al. A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, v. 1, n. 1, p. 33–55, 2016.)

Os algoritmos de tomada de decisão processam as informações dos sistemas de percepção e determinam ações como acelerar, frear, mudar de faixa ou desviar de obstáculos. Esses algoritmos frequentemente utilizam técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais profundas, que se retroalimentam a partir de grandes

volumes de dados. Esta característica cria o chamado problema da caixa preta, onde mesmo os desenvolvedores podem não compreender completamente como o sistema chegou a determinada decisão.

No Brasil, onde as condições de tráfego e infraestrutura podem diferir significativamente daquelas encontradas nos países onde esses sistemas são predominantemente desenvolvidos e testados, a adequação dos parâmetros de percepção e decisão ganha relevância adicional. Um sistema treinado principalmente com dados de cidades norte-americanas ou europeias pode não responder adequadamente a particularidades do trânsito brasileiro, como motocicletas

trafegando nos corredores das vias, vendedores ambulantes em vias expressas ou sinalização precária ou inconsistente.

2.2.3 Atualizações OTA (Over-the-Air) e suas Implicações

As atualizações remotas (Over-the-Air - OTA) representam um aspecto único dos veículos autônomos modernos que tem profundas implicações para a atribuição de responsabilidade civil. Diferentemente de veículos convencionais, cujas características permanecem essencialmente as mesmas após a venda, veículos autônomos podem ter seus parâmetros de decisão significativamente alterados por atualizações de software.

Essas atualizações podem modificar algoritmos de percepção, planejamento de trajetória, mitigação de colisão e outros aspectos críticos do comportamento do veículo. Se um acidente ocorre após uma atualização, surge a questão: a responsabilidade deve ser atribuída com base no estado do software no momento da venda ou no momento do acidente? E se a atualização era opcional, mas o proprietário optou por não instalá-la, como isso afeta a responsabilização?

Silva (2019) analisa os potenciais problemas com que a sociedade e o legislador serão confrontados com a introdução massiva dos veículos autônomos, destacando que as legislações portuguesa e europeia, assim como a brasileira, terão de ser revistas e atualizadas para abordar adequadamente questões como as atualizações OTA. O autor argumenta que a responsabilidade do produtor precisa ser reconsiderada à luz dessa capacidade de modificação pós-venda.

2.2.4 Dilemas Éticos na Programação de Veículos Autônomos

Os dilemas éticos na programação de veículos autônomos, frequentemente discutidos sob a ótica do "problema do bonde" ou "dilema do trolley"¹ HEVELKE, Alexander; NIDA-RÜMELIN, Julian. Responsibility for crashes of autonomous vehicles: an ethical analysis. Science and Engineering Ethics, v. 21, n. 3, p. 619-630, 2015., representam um desafio significativo para desenvolvedores e reguladores. Esses dilemas envolvem situações onde o veículo deve escolher entre diferentes cursos de ação, todos resultando em algum tipo de dano.

Por exemplo, se um veículo autônomo detecta uma colisão inevitável, deve priorizar a proteção de seus ocupantes em detrimento de pedestres ou outros usuários da via? Deve considerar o número de potenciais vítimas, sua idade, ou outros fatores? Essas questões, tradicionalmente abordadas pela ética filosófica, agora precisam ser traduzidas em parâmetros concretos de programação.

Hevelke e Nida-Rümelin (2015) abordam essas questões éticas e suas implicações para a responsabilidade civil. Os autores argumentam que, independentemente da abordagem ética adotada (consequencialista, deontológica ou outra), a implementação de parâmetros de decisão em situações dilemáticas terá implicações significativas para a atribuição de responsabilidade. No contexto brasileiro, onde o ordenamento jurídico enfatiza a proteção da vida e da integridade física como valores fundamentais, a programação de veículos autônomos para tomar decisões em situações dilemáticas deve considerar não apenas aspectos técnicos e éticos, mas também princípios jurídicos estabelecidos. A compatibilidade entre esses diferentes domínios representa um desafio significativo para fabricantes, desenvolvedores e reguladores.

A compreensão desses parâmetros de decisão é fundamental para analisar como eles interagem com o ordenamento jurídico brasileiro, especialmente no que diz respeito à responsabilidade civil em acidentes de trânsito, tema que será abordado na próxima seção.

2.3 RESPONSABILIDADE CIVIL NO ORDENAMENTO JURÍDICO BRASILEIRO

O ordenamento jurídico brasileiro estabelece um conjunto de normas e princípios que regulam a responsabilidade civil em acidentes de trânsito, principalmente através do Código Civil (Lei nº 10.406/2002), do Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078/1990) e do Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.503/1997).

A aplicação dessas normas a acidentes envolvendo veículos autônomos, no entanto, apresenta desafios significativos devido às particularidades desses sistemas.

2.3.1 Conceitos Fundamentais de Responsabilidade Civil

A responsabilidade civil no direito brasileiro fundamenta-se na obrigação de reparar danos causados a terceiros. Tradicionalmente, essa responsabilidade pode ser classificada como subjetiva ou objetiva. A responsabilidade subjetiva, baseada no artigo 186 do Código Civil BRASIL. Código Civil. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2002., requer a demonstração de culpa (negligência, imprudência ou imperícia) ou dolo (intenção) do agente causador do dano. Já a responsabilidade objetiva, prevista no artigo 927, parágrafo único, do mesmo código, dispensa a comprovação de culpa, baseando-se na teoria do risco da atividade.

Em acidentes de trânsito convencionais, a responsabilidade civil geralmente segue o modelo subjetivo, com a necessidade de comprovar a culpa do condutor. No entanto, quando o acidente envolve uma relação de consumo, como no caso de falhas em veículos, aplica-se a responsabilidade objetiva do fornecedor, conforme estabelecido pelo Código de Defesa do Consumidor.

Pinheiro, Borges e Mello (2019) destacam que a responsabilidade civil pelo fato do produto torna-se um dos principais desafios a ser enfrentado pelos fabricantes de veículos autônomos. Os autores argumentam que os princípios de prevenção e precaução podem contribuir significativamente para abordar os desafios da responsabilidade civil nesse contexto.

2.3.2 Responsabilidade Civil Objetiva e Subjetiva Aplicada a Veículos

Autônomos

A aplicação dos conceitos de responsabilidade civil objetiva e subjetiva a acidentes envolvendo veículos autônomos requer uma reinterpretação desses princípios à luz das particularidades desses sistemas. Em veículos de nível 3, onde o condutor deve estar pronto para reassumir o controle quando solicitado, pode-se argumentar pela manutenção de elementos de responsabilidade subjetiva. No entanto, em veículos deníveis 4 e 5, onde o papel do condutor é minimizado ou eliminado, a responsabilidade tende a deslocar-se para fabricantes e desenvolvedores.

Vita e Silva (2021) analisam a responsabilidade civil decorrente de danos causados pelos veículos autônomos no Brasil, destacando aspectos considerados positivos e situações ainda consideradas emblemáticas para o ordenamento jurídico brasileiro. Os autores argumentam que a responsabilidade objetiva do fornecedor, estabelecida pelo CDC, oferece um caminho para a atribuição de responsabilidade em acidentes envolvendo veículos autônomos, mas reconhecem que essa abordagem pode não ser suficiente para abordar todas as complexidades desses sistemas.

Costa (2021) observa que a responsabilidade civil em acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos no Brasil precisa considerar não apenas o papel do "condutor" (ou ocupante), mas também dos diversos agentes envolvidos na cadeia de desenvolvimento, produção e manutenção desses veículos. A autora argumenta que a responsabilidade solidária entre esses agentes pode ser uma abordagem adequada, especialmente considerando a dificuldade em determinar precisamente a causa de falhas em sistemas complexos de IA.

2.3.3 Código Civil, CDC e CTB Aplicados a Veículos Autônomos

O Código Civil brasileiro estabelece princípios gerais de responsabilidade civil que podem ser aplicados a acidentes envolvendo veículos autônomos, mas não aborda especificamente as particularidades desses sistemas. O artigo 927, parágrafo único, que estabelece a responsabilidade objetiva para atividades de risco, pode ser interpretado como aplicável a veículos autônomos, considerando os riscos inerentes a essa tecnologia (VITA, Jonathan Barros; SILVA, Tiago Nunes da. A responsabilidade civil decorrente de danos causados pelos veículos autônomos no Brasil. Revista da Universidade FUMEC, 2021.)

O Código de Defesa do Consumidor, por sua vez, estabelece um regime de responsabilidade objetiva para fornecedores de produtos e serviços. Os artigos 12 a 14 do CDC são particularmente relevantes, estabelecendo a responsabilidade pelo fato do produto ou serviço. Galvão (2023) analisa a responsabilidade civil do fornecedor em acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos sob a perspectiva da Smart Mobility, argumentando que o CDC oferece um arcabouço adequado para a proteção dos consumidores, mas reconhecendo a necessidade de adaptações para abordar as particularidades dos sistemas autônomos. (GALVÃO, Ana Carolina Nucci. Inteligência artificial e a responsabilidade civil do fornecedor em

acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos: uma análise sob a perspectiva da Smart Mobility. 2023).

O Código de Trânsito Brasileiro, embora estabeleça normas de conduta e responsabilidades para condutores e proprietários de veículos, não contempla adequadamente o cenário de veículos sem condutor humano. O artigo 28 do CTB, por exemplo, estabelece que "o condutor deverá, a todo momento, ter domínio de seu veículo, dirigindo-o com atenção e cuidados indispensáveis à segurança do trânsito", um conceito que precisa ser reinterpretado no contexto de veículos autônomos. (LEITE, Victor Henrique da Silva. Responsabilidade civil em acidentes com veículos automotores. 2022.)

A integração desses diferentes diplomas legais na análise de acidentes envolvendo veículos autônomos representa um desafio significativo para operadores do direito. A falta de legislação específica cria incertezas jurídicas que podem ser prejudiciais tanto para vítimas de acidentes quanto para fabricantes e desenvolvedores.

2.3.4 Jurisprudência Brasileira e Casos Relevantes

A jurisprudência brasileira sobre acidentes envolvendo veículos autônomos ainda é incipiente, dada a limitada presença desses veículos em vias públicas no país. No entanto, decisões judiciais relacionadas a falhas em sistemas de assistência ao condutor (nível 1 e 2) podem oferecer insights sobre como os tribunais brasileiros abordariam casos envolvendo níveis mais avançados de autonomia.

Leite (2022) analisa a responsabilidade civil em acidentes com veículos automotores de maneira mais ampla, oferecendo uma base para compreender como os princípios estabelecidos para veículos convencionais poderiam ser adaptados para veículos autônomos. O autor observa que os tribunais brasileiros têm historicamente adotado uma abordagem protetiva em relação a vítimas de acidentes de trânsito, o que sugere uma possível tendência a favorecer a responsabilização de fabricantes e desenvolvedores em casos envolvendo veículos autônomos.

A análise da jurisprudência internacional, especialmente de países onde veículos autônomos já estão em operação mais avançada, também pode oferecer insights valiosos para o contexto brasileiro. Casos como o acidente fatal envolvendo um veículo Uber em modo autônomo em Tempe, Arizona (EUA), em 2018, e o acidente fatal envolvendo um Tesla Model S em modo Autopilot em Williston, Flórida

(EUA), em 2016, estabeleceram precedentes importantes sobre a atribuição de responsabilidade em acidentes envolvendo sistemas autônomos ou semiautônomos.

A compreensão do ordenamento jurídico brasileiro e sua aplicação a veículos autônomos é enriquecida pela análise comparativa com legislações internacionais, tema que será abordado na próxima seção.

2.3.5 Projeto de Lei nº 2338/2023

Proposto pela Comissão de Juristas (CJSUBIA) estruturada em 2022 e composta por mais de 50 especialistas de diferentes setores e especialidades da sociedade, e apresentado pelo Presidente do Senado Federal, Rodrigo Pacheco, em 2023, o Projeto de Lei (PL) nº 2338/2023, visa regulamentar o uso de IA no Brasil, deixando explícito a necessidade de centralizar a tecnologia na pessoa humana, respeitando os direitos humanos e valores democráticos. Além disso, determina papéis e responsabilidades, como por exemplo, fornecedores de sistemas de IA, operadores sistemas, agentes de IA e autoridades competentes, com explanação dos direitos do usuário, classificações de risco, em que veículos autônomos, de acordo com o inciso VIII, art. 17, PL 2338/2023, são caracterizados como Alto Risco, quando seu uso puder gerar riscos à integridade física de pessoas, e obrigatoriedade de medidas de segurança.

Esta PL, após analisada, apresenta pontos conflitantes, com por exemplo a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), em vigor desde 2020, e a criação de uma autoridade competente para regulamentação e fiscalização de IA no País. A mesma foi aprovada pelo plenário e emitida à Câmara dos Deputados em Março de 2025.

A criação de PL específicos para a aplicação de regulamentação de IA no Brasil, norteiam futuras discussões legislativas sobre a aplicação em VAs e demonstram a necessidade de adequações normativas no país.

2.4 LEGISLAÇÕES INTERNACIONAIS SOBRE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

A regulação de veículos autônomos varia significativamente entre diferentes jurisdições, refletindo diferentes abordagens filosóficas, tradições jurídicas e estágios de desenvolvimento tecnológico. A análise comparativa dessas legislações oferece insights valiosos para o desenvolvimento de um marco regulatório adequado ao contexto brasileiro.

2.4.1 Modelos Regulatórios nos EUA

Nos Estados Unidos, a regulação de veículos autônomos ocorre em múltiplos níveis, com interações complexas entre legislação federal, estadual e local. Em nível federal, a National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) publicou diretrizes não vinculantes para veículos autônomos, mais recentemente atualizadas no documento "Automated Vehicles 4.0: Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies" (NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). Automated Vehicles 4.0: Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies. U.S. Department of Transportation, 2020.) Essas diretrizes enfatizam a segurança, a mobilidade, a promoção da inovação e a consistência regulatória.

Em nível estadual, existe significativa variação nas abordagens regulatórias. Estados como Califórnia, Arizona, Nevada e Michigan foram pioneiros na criação de legislação específica para testes e operação de veículos autônomos. A Califórnia, em particular, estabeleceu um regime regulatório abrangente que requer relatórios detalhados de desengajamento (situações em que o sistema autônomo falha ou requer intervenção humana) e acidentes, criando um repositório de dados para análise de segurança (CALIFORNIA DEPARTMENT OF MOTOR VEHICLES (DMV).

Autonomous Vehicle Testing Program: Disengagement Reports.2023.)

No que diz respeito à responsabilidade civil, os EUA adotam predominantemente uma abordagem baseada em responsabilidade pelo produto (product liability), onde fabricantes podem ser responsabilizados por defeitos de design, fabricação ou informação. Alguns estados, como Michigan, estabeleceram proteções específicas para fabricantes de equipamentos originais (OEMs) contra responsabilidade quando seus veículos são modificados por terceiros para operação autônoma.

2.4.2 Abordagem da União Europeia

A União Europeia tem adotado uma abordagem mais centralizada e cautelosa em comparação com os EUA. Em 2018, a Comissão Europeia publicou a estratégia "On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future", estabelecendo um roteiro para o desenvolvimento e implementação de veículos autônomos no bloco.

Em termos de responsabilidade civil, a UE baseia-se na Diretiva 85/374/CEE relativa à responsabilidade decorrente dos produtos defeituosos, que estabelece um regime de responsabilidade objetiva para fabricantes. No entanto, reconhecendo as particularidades dos sistemas autônomos, a Comissão Europeia tem explorado a necessidade de adaptações a esse regime, especialmente considerando o papel do software e das atualizações OTA (CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Diretiva 85/374/CEE de 25 de julho de 1985 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-Membros em matéria de responsabilidade por produtos defeituosos. Jornal Oficial L 210, 07/08/1985, p. 29-33.)

O Parlamento Europeu aprovou em 2020 uma resolução com recomendações à Comissão sobre um regime de responsabilidade civil para a inteligência artificial, abordando especificamente questões relacionadas a veículos autônomos. A resolução propõe um regime de responsabilidade objetiva para operadores de sistemas de IA de alto risco, categoria que incluiria veículos autônomos (PARLAMENTO EUROPEU. Resolução de 20 de outubro de 2020 com recomendações à Comissão sobre um regime de responsabilidade civil para a inteligência artificial (2020/2014(INL)).

Alemanha, França e Reino Unido (antes do Brexit) têm sido particularmente ativos no desenvolvimento de legislação específica para veículos autônomos. A Alemanha, por exemplo, modificou sua Lei de Trânsito em 2017 para permitir a operação de veículos com funções de condução altamente ou totalmente automatizadas, estabelecendo que o condutor pode desviar sua atenção do trânsito durante a operação automatizada, mas deve permanecer suficientemente alerta para reassumir o controle quando solicitado pelo sistema ou quando perceber que as condições para uso da função automatizada não estão mais presentes. (REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA. Lei de Trânsito (Straßenverkehrsgesetz - StVG), § 1a e § 1b, alterados pela Lei de Veículos Autônomos (Gesetz zum automatisierten Fahren) de 2017. Publicação: BGBl. I S. 1648, 21 de junho de 2017.)

2.4.3 Análise Comparativa com o Contexto Brasileiro

Silva (2019) realiza uma análise comparativa entre o ordenamento jurídico português (inspirado no da União Europeia) e o brasileiro, destacando que ambos precisarão ser revistos e atualizados para abordar adequadamente os desafios dos veículos autônomos. O autor observa que, assim como Portugal, o Brasil adota um

regime de responsabilidade objetiva para produtos defeituosos, o que oferece uma base para a atribuição de responsabilidade em acidentes envolvendo veículos autônomos.

No entanto, existem diferenças significativas entre o contexto brasileiro e o europeu ou norte-americano. O Brasil apresenta desafios específicos relacionados à infraestrutura viária, condições de tráfego e aspectos socioeconômicos que podem afetar a implementação e regulação de veículos autônomos. Por exemplo, a heterogeneidade da frota brasileira, com veículos de diferentes idades e tecnologias compartilhando as mesmas vias, cria desafios adicionais para sistemas autônomos projetados principalmente para ambientes mais homogêneos. (MINISTÉRIO FEDERAL DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DIGITAL (BMVI). Estratégia do Governo Alemão para Veículos Autônomos. Relatório Técnico, 2017, pp. 12-15.)

Além disso, o Brasil tem uma tradição jurídica que enfatiza a proteção do consumidor e a responsabilidade objetiva em relações de consumo, conforme estabelecido pelo CDC. Essa abordagem pode favorecer uma atribuição de responsabilidade mais centrada em fabricantes e desenvolvedores em comparação com modelos mais equilibrados adotados em algumas jurisdições norte-americanas.

Costa (2021) argumenta que o Brasil deve desenvolver um marco regulatório próprio para veículos autônomos, inspirado nas melhores práticas internacionais, mas adaptado às particularidades do contexto nacional. A autora sugere que esse marco deve abordar não apenas aspectos de responsabilidade civil, mas também questões relacionadas a testes, certificação, cibersegurança e proteção de dados.

A análise comparativa das legislações internacionais sobre veículos autônomos oferece valiosos insights para o desenvolvimento de um marco regulatório adequado ao contexto brasileiro. No entanto, é fundamental que essa análise considere as particularidades do ordenamento jurídico nacional e as características específicas do ambiente de trânsito brasileiro.

A compreensão dos veículos autônomos e seus níveis de autonomia, dos parâmetros de decisão da IA, do ordenamento jurídico brasileiro e das legislações internacionais relevantes estabelece a base teórica para a análise da relação entre parâmetros de decisão e atribuição de responsabilidade civil. Nas próximas seções, será descrita a metodologia empregada nesta pesquisa e serão apresentados os resultados obtidos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para investigar o impacto dos parâmetros de decisão da Inteligência Artificial na configuração de responsabilidade civil em acidentes envolvendo veículos autônomos no contexto urbano brasileiro, este trabalho adota uma abordagem metodológica qualitativa, combinando diferentes técnicas de pesquisa para alcançar os objetivos propostos.

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A pesquisa se caracteriza como exploratória e descritiva, com abordagem qualitativa, considerando a natureza complexa e multidisciplinar do tema. A escolha desta abordagem justifica-se pela necessidade de compreender em profundidade as relações entre parâmetros técnicos de decisão e suas implicações jurídicas, um campo ainda em desenvolvimento e com limitada jurisprudência específica no Brasil.

O trabalho adota uma perspectiva interdisciplinar, integrando conhecimentos de Direito, Engenharia de Software, Ética em IA e Políticas Públicas. Esta integração é fundamental para abordar adequadamente a complexidade dos veículos autônomos, que representam um ponto de convergência entre diferentes áreas do conhecimento.

3.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica e documental, abrangendo:

1. Literatura científica: Artigos científicos, teses, dissertações e livros sobre veículos autônomos, parâmetros de decisão da IA e responsabilidade civil, tanto no contexto brasileiro quanto internacional. Foram consultadas bases de dados como Scielo, Google Acadêmico, IEEE Xplore e Portal de Periódicos CAPES.

2. Legislação e jurisprudência: Análise da legislação brasileira aplicável (Código Civil, Código de Defesa do Consumidor, Código de Trânsito Brasileiro) e de decisões judiciais relevantes, ainda que não específicas sobre veículos autônomos, mas que estabelecem princípios aplicáveis por analogia.

3. Documentação técnica: Especificações técnicas, white papers e documentação de fabricantes e desenvolvedores de veículos autônomos, com foco nos parâmetros de decisão implementados em seus sistemas.

4. Legislação e regulamentação internacional: Análise comparativa de marcos regulatórios de jurisdições com desenvolvimento mais avançado na regulação de veículos autônomos, como Estados Unidos (federal e estadual) e União Europeia.

5. Relatórios de acidentes: Análise de relatórios de investigação de acidentes envolvendo veículos com diferentes níveis de autonomia, principalmente de agências como a National Transportation Safety Board (NTSB) dos Estados Unidos.

A análise dos dados coletados foi realizada por meio de análise de conteúdo, identificando padrões, tendências e relações entre os parâmetros de decisão da IA e a atribuição de responsabilidade civil. Foram utilizadas técnicas de triangulação de dados para garantir a validade e confiabilidade das análises, confrontando diferentes fontes e perspectivas.

3.3 ESTUDOS DE CENÁRIOS HIPOTÉTICOS

Uma parte significativa da metodologia consistiu no desenvolvimento e análise de cenários hipotéticos de acidentes envolvendo veículos autônomos no contexto urbano brasileiro. Esses cenários foram elaborados considerando:

1. Diferentes níveis de autonomia: Cenários envolvendo veículos de níveis 3, 4 e 5, com diferentes graus de intervenção humana.

2. Variações nos parâmetros de decisão: Análise de como diferentes configurações de algoritmos de mitigação de colisão, sistemas de percepção e protocolos de atualizações OTA influenciariam o comportamento do veículo e, consequentemente, a atribuição de responsabilidade.

3. Particularidades do contexto urbano brasileiro: Inclusão de elementos característicos das cidades brasileiras, como infraestrutura precária, sinalização inconsistente, comportamento imprevisível de outros agentes de trânsito e heterogeneidade da frota.

4. Diferentes tipos de acidentes: Colisões com outros veículos, atropelamentos, acidentes envolvendo infraestrutura urbana e situações dilemáticas onde qualquer decisão resultaria em algum tipo de dano.

Para cada cenário, foi realizada uma análise jurídica detalhada, identificando como os diferentes parâmetros de decisão influenciariam a atribuição de

responsabilidade civil objetiva ou subjetiva, considerando o ordenamento jurídico brasileiro e as tendências internacionais.

3.4 ANÁLISE DE DECISÕES JUDICIAIS

Embora a jurisprudência específica sobre veículos autônomos no Brasil seja ainda incipiente, foram analisadas decisões judiciais em casos análogos que estabelecem princípios potencialmente aplicáveis a acidentes envolvendo esses veículos. Essa análise incluiu:

1. Decisões sobre responsabilidade do fabricante: Casos envolvendo falhas em sistemas de assistência ao condutor (níveis 1 e 2 de autonomia) e outras tecnologias automotivas.

2. Decisões sobre relação de consumo: Jurisprudência relacionada à aplicação do Código de Defesa do Consumidor em casos de falhas em produtos tecnológicos complexos.

3. Decisões internacionais: Análise de casos judiciais em jurisdições onde veículos autônomos já estão em operação mais avançada, como Estados Unidos e União Europeia.

A análise dessas decisões buscou identificar tendências e princípios que poderiam ser aplicados a casos envolvendo veículos autônomos, considerando as particularidades do ordenamento jurídico brasileiro.

3.5 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

É importante reconhecer algumas limitações metodológicas deste trabalho:

1. Escassez de jurisprudência específica: A limitada presença de veículos autônomos em vias públicas brasileiras resulta em escassa jurisprudência específica, exigindo análise por analogia.

2. Natureza hipotética dos cenários: Os cenários analisados, embora baseados em conhecimento técnico e jurídico sólido, são hipotéticos e podem não capturar todas as complexidades de situações reais.

3. Evolução tecnológica rápida: A rápida evolução dos sistemas de IA em veículos autônomos pode tornar alguns aspectos da análise desatualizados em curto prazo.

4. Interdisciplinaridade: A natureza interdisciplinar do tema cria desafios para a integração de conhecimentos de diferentes áreas, cada uma com sua terminologia e metodologias específicas.

Apesar dessas limitações, a metodologia adotada permite uma análise abrangente e fundamentada da relação entre parâmetros de decisão da IA e atribuição de responsabilidade civil em acidentes envolvendo veículos autônomos no contexto urbano brasileiro, contribuindo para o avanço do conhecimento nesse campo emergente.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE DECISÃO E RESPONSABILIDADE CIVIL

A análise da relação entre os parâmetros de decisão da IA em veículos autônomos e a atribuição de responsabilidade civil no contexto urbano brasileiro revelou padrões e correlações significativas, que são apresentados a seguir.

4.1.1 Correlação entre Parâmetros Técnicos e Atribuição de Responsabilidade

O estudo identificou que diferentes configurações de parâmetros técnicos podem influenciar diretamente a atribuição de responsabilidade civil em acidentes. Esta correlação manifesta-se de formas distintas dependendo do nível de autonomia do veículo e da natureza dos parâmetros em questão.

Em veículos de nível 3, onde o condutor deve estar pronto para reassumir o controle quando solicitado, observou-se que os parâmetros relacionados ao sistema de alerta e transferência de controle têm impacto significativo na atribuição de responsabilidade. Sistemas que oferecem alertas claros e tempo adequado para a retomada do controle tendem a deslocar parte da responsabilidade para o condutor que não responde apropriadamente. Por outro lado, sistemas com alertas ambíguos ou tempo insuficiente para intervenção humana tendem a concentrar a responsabilidade no fabricante e desenvolvedor.

Conforme destacado por Pinheiro, Borges e Mello (2019), a responsabilidade civil pelo fato do produto torna-se um dos principais desafios para fabricantes de veículos autônomos. A análise dos parâmetros de decisão revelou que, quanto mais complexos e opacos forem os algoritmos de tomada de decisão, mais difícil se torna estabelecer o nexos causal entre uma falha específica e o dano resultante, o que

tende a favorecer a aplicação da responsabilidade objetiva do fornecedor, conforme estabelecido pelo Código de Defesa do Consumidor.

Em veículos de níveis 4 e 5, onde o papel do condutor é minimizado ou eliminado, os parâmetros relacionados aos algoritmos de mitigação de colisão assumem importância central. A análise revelou que algoritmos que priorizam explicitamente a proteção de determinados grupos (como ocupantes do veículo em detrimento de pedestres) podem resultar em maior responsabilização do fabricante por escolhas de design questionáveis do ponto de vista ético e jurídico.

4.1.2 Cenários de Acidentes e suas Implicações Jurídicas

A análise de cenários hipotéticos de acidentes no contexto urbano brasileiro revelou padrões distintos de atribuição de responsabilidade dependendo das circunstâncias e dos parâmetros de decisão envolvidos.

Cenário 1: Falha de Percepção em Condições Adversas

Neste cenário, um veículo autônomo de nível 4 não detecta um pedestre travessando uma via durante uma chuva forte devido a limitações dos sensores em condições climáticas adversas. A análise revelou que, no ordenamento jurídico brasileiro, este caso tenderia a resultar em responsabilidade objetiva do fabricante, com base no artigo 12 do CDC, que estabelece a responsabilidade pelo fato do produto. A falha de percepção seria caracterizada como um defeito de projeto ou informação, especialmente se o fabricante não tiver advertido adequadamente sobre as limitações do sistema em condições adversas.

No entanto, a análise também identificou que fabricantes poderiam argumentar pela excludente de responsabilidade prevista no artigo 12, §3º, II do CDC (inexistência de defeito), se puderem demonstrar que as limitações dos sensores representam o estado da arte da tecnologia e que todas as precauções razoáveis foram tomadas. Este argumento, contudo, teria menor probabilidade de sucesso no contexto brasileiro, onde a jurisprudência tende a favorecer a proteção do consumidor.

Cenário 2: Dilema Ético em Situação Inevitável

Em um cenário onde o veículo autônomo enfrenta uma situação dilemática (por exemplo, escolher entre colidir com um grupo de pedestres ou desviar para uma barreira, colocando em risco os ocupantes), a análise revelou implicações jurídicas complexas. Os parâmetros programados para essas situações dilemáticas têm impacto direto na atribuição de responsabilidade.

Algoritmos que seguem abordagens utilitaristas (minimizando o número total de vítimas) podem ser defendidos como razoáveis do ponto de vista ético, mas podem enfrentar questionamentos jurídicos se sistematicamente sacrificarem determinados grupos. Por outro lado, algoritmos que priorizam incondicionalmente a proteção dos ocupantes, podem ser questionados por não considerarem adequadamente o valor da vida humana de terceiros.

A análise concluiu que, no ordenamento jurídico brasileiro, que enfatiza a proteção da vida como valor fundamental, fabricantes que implementam algoritmos que sistematicamente priorizam danos patrimoniais em detrimento de danos pessoais estariam em posição mais favorável juridicamente. Esta conclusão alinha-se com o princípio da dignidade da pessoa humana, consagrado na Constituição Federal.

Cenário 3: Interação com Infraestrutura Precária

Um cenário particularmente relevante para o contexto urbano brasileiro envolve a interação de veículos autônomos com infraestrutura precária ou inadequada. A análise revelou que parâmetros de decisão que não são adequadamente adaptados às particularidades das vias brasileiras (como sinalização inconsistente, pavimentação irregular e comportamento imprevisível de outros agentes de trânsito) podem resultar em maior responsabilização do fabricante.

No entanto, a análise também identificou a possibilidade de responsabilidade concorrente do poder público por falhas na infraestrutura viária. Esta conclusão é particularmente relevante para o contexto brasileiro, onde a precariedade da infraestrutura urbana é um fator significativo em acidentes de trânsito.

4.1.3 Impacto das Atualizações de Software na Responsabilização

A análise do impacto das atualizações remotas (OTA) na atribuição de responsabilidade civil revelou questões jurídicas complexas e ainda não adequadamente abordadas pelo ordenamento jurídico brasileiro.

Quando um acidente ocorre após uma atualização que modificou os parâmetros de decisão do sistema, a análise identificou três cenários principais de atribuição de responsabilidade:

- 1. Atualização obrigatória instalada:** Neste caso, a responsabilidade tende a recair integralmente sobre o fabricante/desenvolvedor, uma vez que o proprietário não teve escolha quanto à modificação do comportamento do veículo.

2. Atualização opcional instalada: A análise revelou uma potencial responsabilidade compartilhada, com maior peso para o fabricante/desenvolvedor, mas com possível corresponsabilidade do proprietário que optou por instalar a atualização.

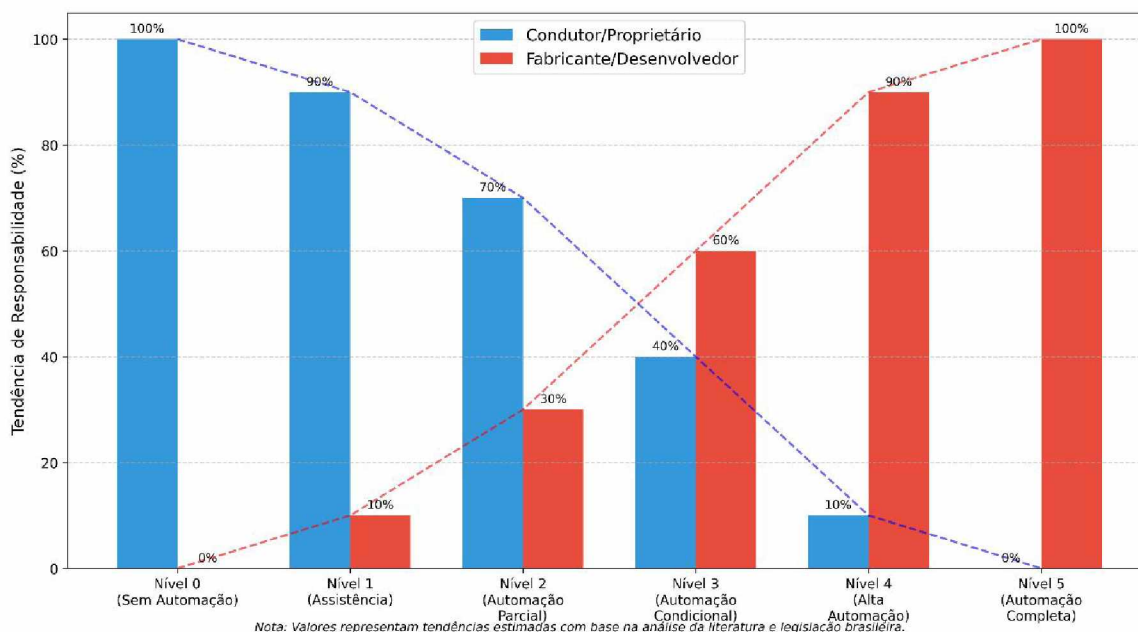
3. Atualização opcional não instalada: Este cenário apresentou a maior complexidade jurídica. A análise identificou que fabricantes poderiam argumentar que o proprietário assumiu o risco ao não instalar uma atualização que corrigiria falhas conhecidas. No entanto, no contexto do CDC brasileiro, este argumento teria força limitada, especialmente se o fabricante não tiver comunicado claramente os riscos de não instalar a atualização.

A análise concluiu que, no ordenamento jurídico brasileiro, as atualizações OTA tendem a concentrar a responsabilidade no fabricante/desenvolvedor, especialmente considerando a assimetria de informação entre estes e os consumidores quanto aos reais efeitos das atualizações nos parâmetros de decisão do sistema.

4.2 ANÁLISES COMPARATIVAS

O Gráfico 01 ilustra como a distribuição de responsabilidade entre condutor/proprietário e fabricante/desenvolvedor tende a se modificar conforme aumenta o nível de autonomia dos veículos. Esta representação visual é fundamental para compreender um dos aspectos centrais deste trabalho: a correlação entre os parâmetros de decisão da IA e a atribuição de responsabilidade civil.

Gráfico 1 – Tendência de Atribuição de Responsabilidade Civil por Nível de Autonomia



FONTE: Os Autores

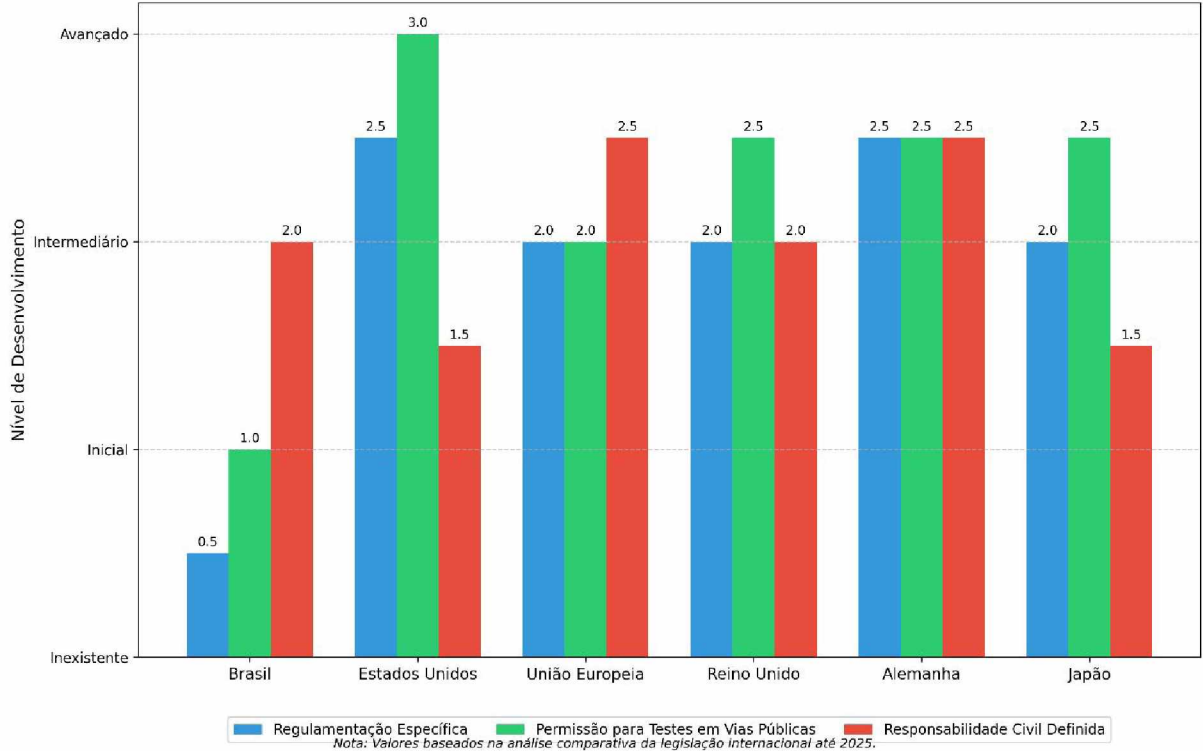
No Nível 0 (Sem Automação), observa-se que a responsabilidade recai integralmente sobre o condutor (100%), uma vez que não há sistemas autônomos envolvidos na operação do veículo. À medida que avançamos para o Nível 1 (Assistência ao Condutor), nota-se uma pequena transferência de responsabilidade para o fabricante (10%), refletindo a introdução de sistemas básicos de assistência como controle de cruzeiro adaptativo ou assistência de permanência em faixa.

O ponto de inflexão significativo ocorre na transição do Nível 2 (Automação Parcial) para o Nível 3 (Automação Condicional). No Nível 3, pela primeira vez, a responsabilidade do fabricante/desenvolvedor (60%) supera a do condutor/proprietário (40%). Isso reflete a mudança fundamental na dinâmica de controle do veículo, onde o sistema assume todas as tarefas de condução em determinadas condições, permitindo que o condutor desvie temporariamente sua atenção.

Nos níveis mais avançados de autonomia (4 e 5), a tendência se acentua drasticamente, com a responsabilidade do fabricante/desenvolvedor chegando a 90% no Nível 4 (Alta Automação) e 100% no Nível 5 (Automação Completa). Esta transferência quase total de responsabilidade reflete a eliminação do papel do condutor humano na operação do veículo.

Este gráfico evidencia o desafio central para o ordenamento jurídico brasileiro: adaptar se a uma realidade onde a responsabilidade por acidentes de trânsito migra progressivamente do indivíduo para as corporações desenvolvedoras de tecnologia. As linhas de tendência pontilhadas reforçam a natureza gradual, porém inexorável, dessa transição, sublinhando a necessidade de marcos regulatórios que acompanhem essa evolução tecnológica.

Gráfico 2 – Comparativo Internacional de Regulamentação para Veículos Autônomos



FONTE: Os Autores

O Gráfico 02 apresenta uma análise comparativa entre diferentes países quanto ao desenvolvimento de três aspectos fundamentais para a operação de veículos autônomos: regulamentação específica, permissão para testes em vias públicas e definição de responsabilidade civil.

O Brasil encontra-se em posição significativamente defasada em relação às principais potências tecnológicas. Com apenas 0,5 pontos em regulamentação específica (classificada como "inicial"), o país demonstra carência de um marco regulatório dedicado aos veículos autônomos. Em contraste, Estados Unidos e Alemanha lideram com 2,5 pontos (próximo ao nível "avançado"), refletindo seus

esforços pioneiros na criação de legislação específica, tanto em nível federal quanto estadual/regional.

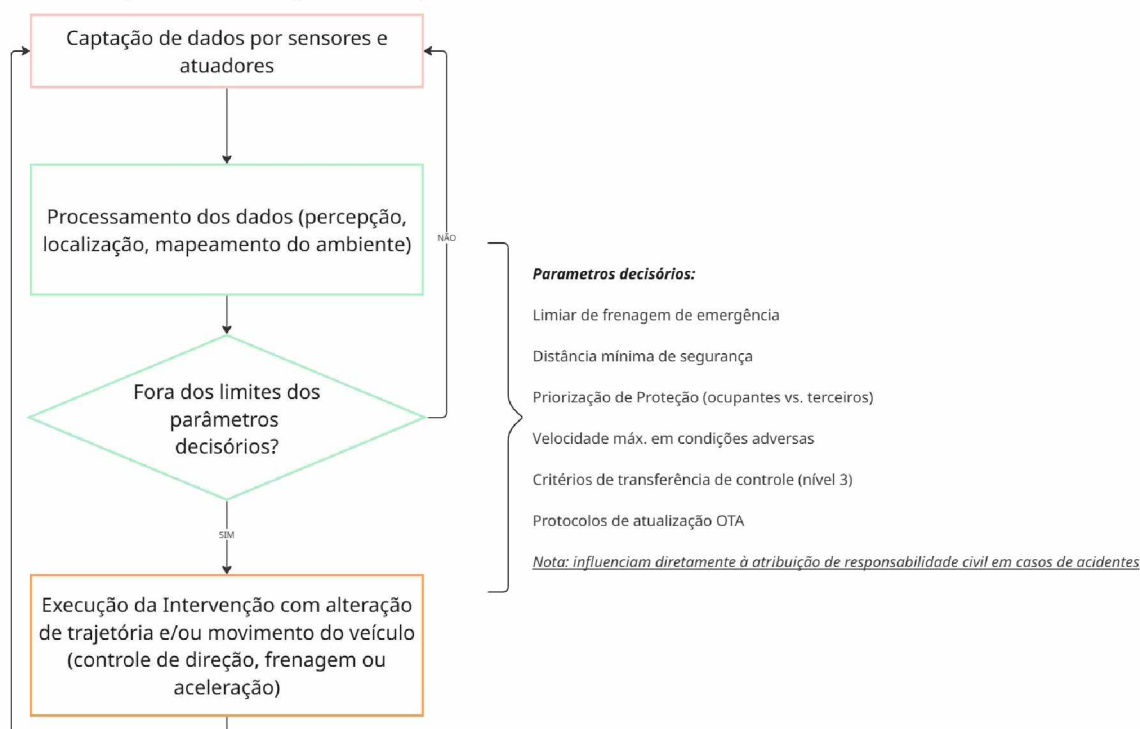
Quanto à permissão para testes em vias públicas, o Brasil também apresenta desenvolvimento limitado (1,0 - "inicial"), enquanto os Estados Unidos se destacam com a pontuação máxima (3,0 - "avançado"), demonstrando sua abertura para experimentação e desenvolvimento prático da tecnologia. Esta disparidade tem implicações diretas no desenvolvimento tecnológico nacional e na capacidade de adaptar sistemas autônomos às particularidades do ambiente viário brasileiro.

No quesito responsabilidade civil definida, o Brasil apresenta uma pontuação intermediária (2,0), similar à de outros países, o que reflete a aplicabilidade de princípios gerais de responsabilidade civil já existentes (como os do Código de Defesa do Consumidor) a acidentes envolvendo veículos autônomos, mesmo na ausência de legislação específica. União Europeia e Alemanha lideram neste aspecto (2,5), com abordagens mais estruturadas para a atribuição de responsabilidade.

Este comparativo evidencia a necessidade urgente de avanços regulatórios no Brasil para acompanhar tendências internacionais e preparar o ambiente jurídico nacional para a inevitável introdução de veículos autônomos. A defasagem regulatória pode não apenas dificultar a adoção segura dessa tecnologia, mas também criar insegurança jurídica para fabricantes, desenvolvedores, usuários e vítimas de eventuais acidentes.

A Figura 1 ilustra a arquitetura funcional dos sistemas autônomos e destaca os parâmetros críticos que influenciam diretamente a atribuição de responsabilidade civil em caso de acidentes. Esta representação visual é essencial para compreender como as decisões são tomadas por esses sistemas e quais aspectos técnicos devem ser considerados na análise jurídica.

Figura 1 – Fluxograma Simplificado de Parâmetros de Decisão em Veículos Autônomos



FONTE: Os Autores

O fluxo de informação e decisão em um veículo autônomo inicia-se nos **SENSORES** (câmeras, lidars, radares e ultrassônicos), responsáveis pela captação de dados do ambiente. Estes dados são transmitidos para a etapa de **PROCESSAMENTO**, onde ocorrem a percepção, localização e mapeamento do ambiente. Com base nesse processamento, o módulo de **DECISÃO** determina o planejamento de trajetória e implementa algoritmos de mitigação de colisão quando necessário. Por fim, os **ATUADORES** executam as decisões tomadas, controlando direção, aceleração e frenagem do veículo.

Na parte lateral do fluxograma, são destacados os **PARÂMETROS DE DECISÃO CRÍTICOS** que têm implicações diretas na atribuição de responsabilidade civil. O limiar de frenagem de emergência, por exemplo, determina quão cedo o sistema iniciará uma frenagem brusca diante de um obstáculo, enquanto a distância mínima de segurança estabelece o espaçamento considerado seguro em relação a outros veículos. Estes parâmetros são definidos pelos desenvolvedores e podem variar significativamente entre diferentes fabricantes e modelos.

Particularmente relevante para a análise jurídica é o parâmetro de "priorização de proteção (ocupantes vs. terceiros)", que determina como o sistema reagirá em situações dilemáticas onde qualquer decisão resultará em algum tipo de dano. A

programação deste parâmetro tem implicações éticas e jurídicas profundas, podendo influenciar diretamente a atribuição de responsabilidade em caso de acidentes.

Os critérios para transferência de controle (especialmente relevantes para veículos de Nível 3) e os protocolos de atualizações OTA (Over-the-Air) também são destacados como parâmetros críticos. Estes últimos são particularmente importantes na análise de responsabilidade, pois modificações remotas nos parâmetros de decisão após a venda do veículo criam questões complexas sobre quem deve ser responsabilizado por acidentes: o fabricante que implementou a atualização ou o proprietário que optou por instalá-la ou não.

Este fluxograma evidencia a complexidade técnica subjacente à operação de veículos autônomos e demonstra como os parâmetros de decisão implementados pelos desenvolvedores têm implicações diretas na atribuição de responsabilidade civil. A compreensão destes parâmetros é fundamental para operadores do direito, reguladores e seguradoras que precisarão lidar com os desafios jurídicos decorrentes da introdução dessa tecnologia no contexto urbano brasileiro

4.3 PROPOSTAS DE ADEQUAÇÃO NORMATIVA

Com base na análise realizada, foram desenvolvidas propostas de adequação normativa visando maximizar a segurança viária e proporcionar maior clareza na atribuição de responsabilidade em acidentes envolvendo veículos autônomos no contexto urbano brasileiro.

4.3.1 Recomendações para o Aprimoramento da Legislação Brasileira

1. Criação de legislação específica para veículos autônomos: A análise evidenciou a necessidade de um marco regulatório específico para veículos autônomos no Brasil, que aborde as particularidades desses sistemas e estabeleça claramente os critérios de atribuição de responsabilidade civil. Esta legislação deveria:

- a. Definir claramente os diferentes níveis de autonomia, adotando a classificação da SAE como referência.
- b. Estabelecer requisitos específicos de segurança para cada nível de autonomia, incluindo parâmetros mínimos para sistemas de percepção, algoritmos de decisão e interfaces homem-máquina.
- c. Regular o processo de testes e homologação de veículos autônomos, considerando as particularidades do ambiente viário brasileiro.

d. Estabelecer critérios claros para atribuição de responsabilidade civil em diferentes cenários de acidentes, considerando o papel dos diversos agentes envolvidos (fabricante, desenvolvedor, proprietário, ocupante, poder público).

2. Adaptação do Código de Trânsito Brasileiro: A análise identificou a necessidade de adaptar o CTB para contemplar a realidade dos veículos autônomos, especialmente:

a. Revisão do conceito de "condutor" para incluir sistemas autônomos e estabelecer responsabilidades específicas para ocupantes de veículos com diferentes níveis de autonomia.

b. Criação de regras específicas para a interação entre veículos autônomos e convencionais, pedestres e outros usuários da via.

c. Estabelecimentos de requisitos de sinalização e comunicação para veículos operando em modo autônomo.

3. Complementação do Código de Defesa do Consumidor: Embora o CDC ofereça um arcabouço adequado para a proteção dos consumidores, a análise identificou a necessidade de complementações específicas para veículos autônomos:

a. Regulamentação específica sobre o dever de informação relacionado a parâmetros de decisão da IA, incluindo a obrigatoriedade de comunicação clara sobre as capacidades e limitações dos sistemas autônomos.

b. Estabelecimento de regras específicas para atualizações OTA, incluindo requisitos de transparência, consentimento informado e responsabilidade por modificações pós-venda.

c. Criação de mecanismos de rastreabilidade de decisões algorítmicas para facilitar a determinação de responsabilidade em caso de acidentes.

4.1.1 Diretrizes para Fabricantes e Desenvolvedores

Com base na análise realizada, foram desenvolvidas diretrizes para fabricantes e desenvolvedores de veículos autônomos visando minimizar riscos jurídicos e promover a segurança:

1. Transparência algorítmica: Implementação de sistemas que permitam rastrear e explicar decisões tomadas pelos algoritmos de IA, facilitando a determinação de responsabilidade em caso de acidentes.

2. Adaptação ao contexto brasileiro: Desenvolvimento de parâmetros de decisão específicos para o contexto urbano brasileiro, considerando particularidades como infraestrutura precária, comportamento imprevisível de outros agentes de trânsito e condições climáticas específicas.

3. Gestão responsável de atualizações OTA: Implementação de protocolos rigorosos para atualizações remotas, incluindo testes abrangentes, comunicação clara sobre modificações nos parâmetros de decisão e mecanismos de reversão em caso de problemas.

4. Abordagem ética na programação de dilemas: Desenvolvimento de algoritmos de mitigação de colisão que respeitem princípios éticos e jurídicos fundamentais, como a proteção da vida humana, a não-discriminação e a proporcionalidade.

5. Documentação e registro: Manutenção de registros detalhados sobre o desenvolvimento, teste e implementação de parâmetros de decisão, que possam ser utilizados como evidência em caso de litígios.

4.1.2 Propostas para o Setor de Seguros

A análise identificou a necessidade de adaptações no setor de seguros para abordar adequadamente os riscos associados a veículos autônomos:

1. Desenvolvimento de produtos específicos: Criação de produtos de seguro específicos para veículos autônomos, com precificação baseada em dados reais de desempenho, segurança e usabilidade.

2. Modelos de responsabilidade compartilhada: Implementação de modelos de seguro que contemplem a responsabilidade compartilhada entre diferentes agentes (fabricante, desenvolvedor, proprietário, ocupante).

3. Incentivos à segurança: Estabelecimento de incentivos (como descontos em prêmios) para veículos com parâmetros de decisão que demonstrem maior segurança em testes independentes.

4. Cobertura para riscos cibernéticos: Inclusão de cobertura para riscos específicos de veículos autônomos, como ataques cibernéticos, falhas em atualizações OTA e comprometimento de sistemas de percepção.

5. Fundo garantidor: Criação de um fundo garantidor específico para acidentes envolvendo veículos autônomos, financiado por fabricantes,

desenvolvedores e seguradoras, para garantir indenização rápida às vítimas enquanto se determina a responsabilidade definitiva.

As propostas de adequação normativa apresentadas buscam equilibrar a proteção dos direitos dos cidadãos com o incentivo à inovação tecnológica, reconhecendo o potencial dos veículos autônomos para reduzir significativamente o número de acidentes e fatalidades no trânsito brasileiro, desde que implementados com parâmetros de decisão adequados e em um ambiente regulatório claro e eficaz.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da relação entre os parâmetros de decisão da Inteligência Artificial e a atribuição de responsabilidade civil em acidentes envolvendo veículos autônomos no contexto urbano brasileiro revelou um cenário complexo e multifacetado, que demanda abordagens interdisciplinares e adaptações no ordenamento jurídico nacional.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que os parâmetros de decisão implementados nos sistemas de IA de veículos autônomos têm impacto direto e significativo na configuração de responsabilidade civil, tanto objetiva quanto subjetiva. Algoritmos de mitigação de colisão, sistemas de percepção e protocolos de atualizações remotas (OTA) influenciam não apenas o comportamento do veículo em situações críticas, mas também a determinação de responsabilidade quando ocorrem acidentes.

No contexto do ordenamento jurídico brasileiro, observou-se uma tendência à aplicação da responsabilidade objetiva do fornecedor, conforme estabelecido pelo Código de Defesa do Consumidor, especialmente em veículos de níveis 4 e 5 de autonomia, onde o papel do condutor é minimizado ou eliminado. Esta tendência alinha-se com a tradição jurídica nacional de proteção ao consumidor, mas cria desafios para fabricantes e desenvolvedores que precisam navegar um ambiente regulatório ainda não plenamente adaptado à realidade dos veículos autônomos.

A análise comparativa entre as normas brasileiras e legislações-modelo internacionais revelou tanto convergências quanto divergências significativas. Enquanto jurisdições como Estados Unidos tendem a adotar abordagens mais favoráveis à inovação, com proteções específicas para fabricantes em determinadas circunstâncias, a União Europeia segue uma linha mais próxima à brasileira, com ênfase na responsabilidade objetiva por produtos defeituosos. No entanto, ambas as jurisdições têm avançado mais rapidamente na criação de marcos regulatórios específicos para veículos autônomos, uma lacuna ainda presente no Brasil.

Os cenários hipotéticos analisados demonstraram que diferentes parametrizações de IA podem resultar em enquadramentos distintos de responsabilidade, dependendo de fatores como transparência algorítmica, adaptação ao contexto local, gestão de atualizações e abordagem ética em situações dilemáticas. Esta constatação reforça a necessidade de diretrizes claras para

fabricantes e desenvolvedores, que equilibrem inovação tecnológica com segurança jurídica e proteção dos direitos dos cidadãos.

As propostas de adequação normativa apresentadas buscam preencher as lacunas identificadas, sugerindo a criação de legislação específica para veículos autônomos no Brasil, adaptações no Código de Trânsito Brasileiro e complementações ao Código de Defesa do Consumidor. Estas propostas, se implementadas, poderiam proporcionar maior clareza na atribuição de responsabilidade e criar um ambiente mais favorável para a implementação segura e responsável de veículos autônomos no país.

É importante reconhecer algumas limitações deste estudo. A escassez de jurisprudência específica sobre veículos autônomos no Brasil exigiu análises por analogia e projeções baseadas em princípios gerais do direito. Além disso, a rápida evolução tecnológica neste campo pode tornar alguns aspectos da análise desatualizados em curto prazo. A natureza hipotética dos cenários analisados, embora baseada em conhecimento técnico e jurídico sólido, pode não capturar todas as complexidades de situações reais.

Para pesquisas futuras, sugere-se o aprofundamento em aspectos específicos da relação entre parâmetros de decisão e responsabilidade civil, como o impacto de diferentes arquiteturas de IA (por exemplo, redes neurais versus sistemas baseados em regras) na transparência e explicabilidade das decisões. Estudos empíricos sobre a percepção de juízes e operadores do direito brasileiros quanto à responsabilidade em acidentes envolvendo veículos autônomos também seriam valiosos para antecipar tendências jurisprudenciais.

Recomenda-se ainda o desenvolvimento de metodologias para teste e certificação de parâmetros de decisão adaptados ao contexto urbano brasileiro, considerando particularidades como infraestrutura precária, comportamento imprevisível de outros agentes de trânsito e condições climáticas específicas. Tais metodologias poderiam servir como base para a criação de normas técnicas nacionais, complementando o marco regulatório proposto.

Em conclusão, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento na interseção entre Direito e Tecnologia, oferecendo subsídios para legisladores, fabricantes, desenvolvedores, seguradoras e operadores do direito que enfrentarão os desafios da mobilidade autônoma no Brasil. A compreensão da relação entre parâmetros de decisão da IA e atribuição de responsabilidade civil é fundamental para

criar um ambiente regulatório que promova tanto a inovação tecnológica quanto a segurança jurídica, protegendo os direitos dos cidadãos e oferecendo clareza para todos os agentes envolvidos.

Os veículos autônomos têm o potencial de transformar profundamente a mobilidade urbana no Brasil, reduzindo acidentes, congestionamentos e poluição. No entanto, para que esse potencial seja realizado de maneira segura e responsável, é essencial que os parâmetros de decisão implementados nesses veículos sejam desenvolvidos considerando não apenas aspectos técnicos, mas também implicações jurídicas, éticas e sociais. Este trabalho busca contribuir para esse objetivo, promovendo uma abordagem interdisciplinar e contextualizada para um dos maiores desafios da mobilidade do século XXI.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Código Civil**. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2002. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 jan. 2002.

BRASIL. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 set. 1990.

BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 set. 1997.

BRASIL. Projeto de Lei nº 2338, de 2023. Dispõe sobre o uso da Inteligência Artificial. **Senado Federal**. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9347593&ts=1742240889254&disposition=inline>

CALIFORNIA DEPARTMENT OF MOTOR VEHICLES (DMV). **Autonomous Vehicle Testing Program: Disengagement Reports**. 2023. Disponível em: <https://www.dmv.ca.gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/disengagement-reports/>.

COMISSÃO EUROPEIA. **On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future**. Bruxelas, 2018.

CONSELHO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. **Diretiva 85/374/CEE** de 25 de julho de 1985 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-Membros em matéria de responsabilidade por produtos defeituosos. Jornal Oficial L 210, 07/08/1985, p. 29-33. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:31985L0374>.

COSTA, Maria Eduarda de Oliveira Pinto. **Responsabilidade civil em acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos. 2021**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

GALVÃO, Ana Carolina Nucci. **Inteligência artificial e a responsabilidade civil do fornecedor em acidentes de trânsito envolvendo veículos autônomos: uma análise sob a perspectiva da Smart Mobility. 2023**. Trabalho de Graduação Interdisciplinar (Bacharelado em Direito) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2023.

HEVELKE, Alexander; NIDA-RÜMELIN, Julian. **Responsibility for crashes of autonomous vehicles: an ethical analysis**. Science and Engineering Ethics, v. 21, n. 3, p. 619-630, 2015.

LEITE, Victor Henrique da Silva. **Responsabilidade civil em acidentes com veículos automotores. 2022**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Direito) Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022.

MINISTÉRIO FEDERAL DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DIGITAL (BMVI). **Estratégia do Governo Alemão para Veículos Autônomos**. Relatório Técnico, 2017, pp. 12-15. Disponível em: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/automated-driving-strategy.pdf>.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). **Automated Vehicles 4.0: Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies**. Washington, DC, 2020.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION (NHTSA). **Automated Vehicles 4.0: Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies**. U.S. Department of Transportation, 2020. Disponível em: https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2020-01/USDOT_AV4.0.pdf.

NHTSA – National Highway Traffic Safety Administration. **Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety**. U.S. Department of Transportation, 2017. Disponível em: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Global status report on road safety**. Genebra, 2018.

PARLAMENTO EUROPEU. **Resolução de 20 de outubro de 2020** com recomendações à Comissão sobre um regime de responsabilidade civil para a inteligência artificial (2020/2014(INL)). Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2020-0276_PT.html.

PARLAMENTO EUROPEU. **Resolução do Parlamento Europeu**, de 20 de outubro de 2020, que contém recomendações à Comissão sobre o regime de responsabilidade civil aplicável à inteligência artificial. Bruxelas, 2020.

PINHEIRO, Guilherme Pereira; BORGES, Maria Ruth; MELLO, Flávio Luís de. Danos envolvendo veículos autônomos e a responsabilidade civil do fornecedor. **Revista Brasileira de Direito Civil**, v. 21, p. 247-267, 2019.

REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA. **Lei de Trânsito (Straßenverkehrsgesetz - StVG)**, § 1a e § 1b, alterados pela Lei de Veículos Autônomos (Gesetz zum automatisierten Fahren) de 2017. Publicação: BGBl. I S. 1648, 21 de junho de 2017. Disponível em: https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/___1a.html.

SILVA, Gonçalo Manuel de Sequeira Viana da. **Veículos autónomos: um novo desafio para o direito português**. 2019. Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidades Lusíada, Lisboa, 2019.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE). **Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles**. Standard J3016, 2021.

VITA, Jonathan Barros; SILVA, Tiago Nunes da. A responsabilidade civil decorrente de danos causados pelos veículos autônomos no Brasil. **Revista da Universidade FUMEC**, 2021.

WANG, Hong *et al.* Crash mitigation in motion planning for autonomous vehicles. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, 2023.

APÊNDICE 1 – GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

Algoritmo de Mitigação de Colisão: Conjunto de regras e procedimentos computacionais que determinam como um veículo autônomo deve responder em situações onde uma colisão é iminente ou inevitável, visando minimizar danos.

Atualizações OTA (Over-the-Air): Atualizações de software realizadas remotamente, sem necessidade de intervenção física no veículo, que podem modificar parâmetros de decisão e comportamento do sistema autônomo.

Campo Potencial Artificial: Técnica utilizada em algoritmos de navegação e desvio de obstáculos que simula campos de força repulsivos ao redor de obstáculos e atrativos em direção ao destino.

Controle Preditivo de Modelo (MPC): Algoritmo de controle avançado que utiliza um modelo do sistema para prever comportamentos futuros e otimizar decisões de controle em um horizonte de tempo.

Dilema do Trolley (ou Problema do Bonde): Experimento mental ético que apresenta um cenário onde é necessário escolher entre ações que resultarão em diferentes números de vítimas, frequentemente aplicado a decisões algorítmicas em veículos autônomos.

Domínio Operacional: Condições específicas sob as quais um sistema de condução automatizada foi projetado para funcionar, incluindo limitações geográficas, ambientais, de tráfego, velocidade e temporais.

Lidar (Light Detection and Ranging): Tecnologia de sensoriamento que utiliza pulsos de laser para medir distâncias e criar mapas tridimensionais detalhados do ambiente ao redor do veículo.

Parâmetros de Decisão: Variáveis e configurações que determinam como um sistema de IA processa informações e escolhe ações em diferentes situações, incluindo limiares, pesos e prioridades.

Percepção: Capacidade do sistema autônomo de captar e interpretar informações do ambiente através de sensores como câmeras, radares e lidars, incluindo detecção e classificação de objetos.

Planejamento de Trajetória: Processo pelo qual um veículo autônomo determina o caminho a seguir, considerando o ambiente, obstáculos, regras de trânsito e objetivos de navegação.

Problema da "Caixa Preta": Dificuldade em explicar ou interpretar como sistemas de IA baseados em aprendizado profundo chegam a determinadas decisões, criando desafios para atribuição de responsabilidade.

Responsabilidade Civil Objetiva: Obrigação de reparar danos independentemente da existência de culpa, baseada na teoria do risco da atividade. Responsabilidade Civil Subjetiva: Obrigação de reparar danos condicionada à demonstração de culpa (negligência, imprudência ou imperícia) ou dolo do agente causador.

Sistema V2X (Vehicle-to-Everything): Tecnologia de comunicação que permite que veículos troquem informações com outros veículos (V2V), infraestrutura (V2I), pedestres (V2P) e redes (V2N).

Teoria do Risco: Fundamento jurídico da responsabilidade objetiva, que atribui o dever de indenizar àquele que, em razão de sua atividade, cria riscos para terceiros.

APÊNDICE B - CENÁRIOS HIPOTÉTICOS DE ACIDENTES COM VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Cenário 1: Falha de Percepção em Condições Adversas

Descrição: Em uma noite chuvosa em São Paulo, um veículo autônomo de nível 4 trafega por uma avenida movimentada. Um pedestre, vestindo roupas escuras, atravessa a via fora da faixa de pedestres. O sistema de percepção do veículo, comprometido pela chuva intensa e baixa visibilidade, não detecta o pedestre a tempo, resultando em atropelamento.

Parâmetros de decisão relevantes: - Limiar de detecção de pedestres em condições adversas - Configuração de sensores (câmeras, radares, lidars) para operação em chuva Velocidade máxima permitida em condições de visibilidade reduzida

Análise jurídica: No ordenamento jurídico brasileiro, este caso tenderia a resultar em responsabilidade objetiva do fabricante, com base no artigo 12 do CDC, caracterizando a falha de percepção como defeito de projeto ou informação, especialmente se o fabricante não tiver advertido adequadamente sobre as limitações do sistema em condições adversas.

Cenário 2: Dilema Ético em Situação Inevitável

Descrição: Em uma via expressa de Belo Horizonte, um caminhão à frente de um veículo autônomo de nível 5 perde parte de sua carga, bloqueando subitamente a pista. O veículo autônomo identifica três opções: (1) frear bruscamente, arriscando uma colisão traseira com outro veículo; (2) desviar para a direita, onde há um grupo de operários trabalhando; ou (3) desviar para a esquerda, colidindo com a barreira de proteção e potencialmente ferindo seus ocupantes.

Parâmetros de decisão relevantes: - Priorização entre segurança dos ocupantes e terceiros - Algoritmo de avaliação de risco para diferentes trajetórias - Pesos atribuídos a diferentes tipos de danos (materiais vs. pessoais)

Análise jurídica: A responsabilidade civil dependeria significativamente dos parâmetros programados para situações dilemáticas. No ordenamento jurídico

brasileiro, que enfatiza a proteção da vida como valor fundamental, fabricantes que implementam algoritmos que sistematicamente priorizam danos patrimoniais em detrimento de danos pessoais estariam em posição mais favorável juridicamente.

Cenário 3: Interação com Infraestrutura Precária

Descrição: Em uma cidade do interior com sinalização precária, um veículo autônomo de nível 4 se aproxima de um cruzamento onde o semáforo está com defeito (piscando em amarelo). Um agente de trânsito está sinalizando manualmente, mas o sistema de reconhecimento do veículo não está programado para interpretar gestos de agentes de trânsito brasileiros. O veículo avança no cruzamento, causando colisão com outro veículo que tinha preferência segundo a sinalização do agente.

Parâmetros de decisão relevantes: - Capacidade de reconhecimento de sinalização manual de agentes de trânsito - Protocolo de decisão para semáforos com defeito Adaptação a particularidades locais de sinalização

Análise jurídica: Este cenário poderia resultar em responsabilidade compartilhada entre o fabricante (por não adaptar adequadamente o sistema ao contexto brasileiro) e o poder público (por falhas na infraestrutura viária). A análise jurídica consideraria se o fabricante advertiu sobre limitações do sistema em relação à sinalização manual e se o veículo deveria ter reduzido a velocidade ou parado diante da incerteza.

Cenário 4: Atualização OTA e Modificação de Comportamento

Descrição: Um proprietário de veículo autônomo de nível 3 recebe notificação sobre uma atualização opcional que promete melhorar o desempenho do sistema em rodovias, mas opta por não instalá-la. Semanas depois, o veículo se envolve em um acidente em uma rodovia, em situação que a atualização teria potencialmente evitado.

Parâmetros de decisão relevantes: - Protocolo de notificação sobre atualizações críticas de segurança - Clareza na comunicação sobre riscos de não atualizar - Diferenças entre parâmetros de decisão antes e após a atualização.

Análise jurídica: Este cenário apresenta complexidade jurídica significativa. Fabricantes poderiam argumentar que o proprietário assumiu o risco ao não instalar uma atualização que corrigiria falhas conhecidas. No entanto, no contexto do CDC

brasileiro, este argumento teria força limitada, especialmente se o fabricante não tiver comunicado claramente os riscos específicos de não instalar a atualização.