



ESTIMATIVA DA VELOCIDADE DE VEÍCULOS COM BASE EM VÍDEOS DE CÂMERA DE SEGURANÇA E SUA APLICABILIDADE PARA A PERÍCIA CRIMINAL

Avante

REVISTA
ACADÊMICA
DA POLÍCIA CIVIL
DE MINAS GERAIS

Luiz Eduardo de Lima e Silva

<http://lattes.cnpq.br/5425468231148920> - <https://orcid.org/0009-0009-0544-2039>

luiz.lima@policiacivil.mg.gov.br

Polícia Civil de Minas Gerais, Três Corações, MG, Brasil

Giselle de Moura Carpes

<http://lattes.cnpq.br/4769894710024746> - <https://orcid.org/0009-0000-1294-2300>

giselle.carpes@policiacivil.mg.gov.br

Polícia Civil de Minas Gerais, Três Corações, MG, Brasil

RESUMO

A determinação da velocidade de veículos envolvidos em sinistros constitui um elemento fundamental na compreensão do fato e eventual atribuição de responsabilidades. Nesse contexto, registros audiovisuais do evento constituem uma fonte de evidência pericial de grande relevância. Este trabalho propõe um método de análise dos vídeos que, desde que observadas certas condições, permite estimar a velocidade instantânea de veículos sem a necessidade de exames complementares no local dos fatos ou da presença de marcos espaciais na gravação. A proposta é baseada em princípios geométricos simples, de fácil replicação, utilizando recursos amplamente acessíveis. O método é aplicável tanto em trajetórias retilíneas quanto curvas suaves, desde que a trajetória não varie abruptamente e o eixo traseiro siga o mesmo percurso que o descrito pelo eixo dianteiro.

Palavras-chave: Acidentes de trânsito; Gravação; Estimação de velocidade; Análise de vídeo; Perícia Técnica.

ESTIMATION OF VEHICLE SPEED BASED ON SECURITY CAMERA FOOTAGE AND ITS APPLICABILITY TO FORENSIC CRIMINAL ANALYSIS

ABSTRACT

The determination of speed in traffic collisions is a key element in understanding the event and in the potential attribution of responsibility. In this context, audiovisual recordings of the incident serve as a highly relevant source of forensic evidence. This study proposes a video analysis method which, under certain conditions, enables the estimation of a vehicle's instantaneous speed without the need for on-site re-examination or the presence of spatial markers in the footage. The approach is based on simple geometric principles, is easily replicable, and relies on widely accessible tools. The method is applicable to both linear and mildly curved trajectories, provided that the path does not vary abruptly and that the rear axle follows the same course as the front axle.

Keywords: Traffic accidents; recordings; speed estimation; Video analysis; Forensic analysis.

DOI: <https://doi.org/10.70365/2764-0779.2025.168>

Recebido em: 04/08/2025.

Aceito em: 21/10/2025.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população e o avanço da indústria automobilística têm contribuído significativamente para o aumento da incidência de acidentes de trânsito, configurando-se como uma preocupação global (Viana, 2009) e um problema urgente de saúde pública e segurança (Duque; Trippi, 2024). O elevado custo gerado para a sociedade em geral em termos de impactos sócio-econômicos *"têm levado a comunidade internacional a empenhar esforços na redução de acidentes"* (Vieira et al., 2016, p. 12).

Segundo o Atlas da Violência (Cerqueira; Bueno, 2025), publicado anualmente pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o Brasil possui destaque internacional nesse aspecto, uma vez que já ocupou a quinta posição entre os países com maior número de mortes no trânsito. Nesse cenário, os locais envolvendo acidentes de trânsito representam uma parte expressiva das demandas periciais que sofrem uma elevação proporcional (Gurgel et al., 2015).

Em países em desenvolvimento como o Brasil, estima-se que aproximadamente 50% dos acidentes com vítimas estejam relacionados à velocidade (Gomes; Macedo, 2011). Assim, a determinação da velocidade dos veículos envolvidos torna-se um importante elemento de análise pericial (Gurgel et al., 2015), contribuindo para a reconstituição da dinâmica do sinistro, identificação das causas e a eventual atribuição de responsabilidades, sendo seu questionamento um fato constante na aplicação da justiça (Toresan Jr., 2008).

A perícia de trânsito ocupa papel central na investigação criminal e na esfera judicial, uma vez que fornece elementos técnicos indispensáveis para a reconstrução da dinâmica de sinistros viários e para a identificação de possíveis responsabilidades. No âmbito policial, a determinação da velocidade de veículos envolvidos em acidentes contribui para o esclarecimento de circunstâncias essenciais, como a existência de excesso de velocidade em relação ao limite regulamentado ou a compatibilidade da condução com as condições da via. Esses dados, devidamente fundamentados em laudos periciais, servem como subsídio objetivo tanto para a autoridade policial na condução do inquérito quanto para o Ministério Público e o Poder Judiciário em suas decisões (Pereira, 2017). Assim, a quantificação da velocidade não deve ser compreendida apenas como uma medida física, mas como um fator que auxilia diretamente na imputação de responsabilidade civil e criminal.

A variável física "velocidade" desempenha papel preponderante na dinâmica dos acidentes (Brasil, 1997), impactando diretamente no tempo

disponível que o motorista têm para decidir a manobra correta (parar, reduzir, desviar, etc.) e também no atingimento do limite de resistência do pavimento contra derrapagem e/ou estabilidade contra tombamento (Paula, 2019). Conforme ressalta Mendes (2017), o excesso de velocidade está associado à imprudência do condutor e é fator contribuinte de acidentes.

A estimativa dessa variável é embasada em fundamentos de física básica e na análise de vestígios materiais presentes no local, como danos nos veículos, marcas na pista e registros audiovisuais. Vestígios diversos devem ser angariados de forma criteriosa e analisados conjuntamente, a fim de formar um laudo pericial detalhado e fundamentado em elementos técnicos e objetivos. Contudo, a aquisição e a utilização desses vestígios enfrentam diversos desafios práticos. Tais desafios evidenciam a necessidade de métodos complementares e tecnologicamente viáveis que permitam ao perito estimar a velocidade de maneira confiável, mesmo diante da escassez ou da baixa qualidade dos vestígios materiais (Stacheski; Broch Junior, 2018).

Neste contexto, este trabalho propõe um método para estimar a velocidade de veículos a partir de gravações de câmeras de segurança, dispensando a necessidade de exames complementares no local, baseado em princípios geométricos simples e com suporte em tecnologias acessíveis.

2 DESENVOLVIMENTO

Entre os métodos tradicionalmente empregados na estimativa da velocidade destacam-se: a medição de marcas de frenagem ou arrastamento deixadas pelos veículos na superfície das faixas de rolamento, cálculos baseados em deformações na estrutura dos veículos, o uso de tabelas de projeção de motociclistas e danos ao para-brisa (Pereira, 2017). Dentre esses, a medição de marcas viárias é uma das técnicas mais amplamente utilizadas, principalmente em decorrência de sua versatilidade e facilidade. Todavia, a aplicação eficaz desse método depende da presença clara e visível de vestígios no solo, o que nem sempre ocorre, isso porque em alguns casos os veículos não chegam a deixar marcas visíveis. Em veículos dotados de sistemas de frenagem antitravamento (ABS), por exemplo, as marcas deixadas no pavimento são quase imperceptíveis (Pereira, 2017).

Outros fatores que dificultam a aplicação de métodos tradicionais incluem: a dificuldade de determinação do coeficiente real de atrito da via; a complexidade de estimar a energia de deformação dos veículos; a existência de marcas prévias na pista ou interferências de outras marcas não relacionadas ao evento; e a alteração das posições de repouso dos veículos devido à

intervenção de equipes de emergência ou para garantir a fluidez do trânsito.

Diante dessas dificuldades, que nem sempre permitem que se encontrem indícios suficientes para reproduzir a dinâmica do acidente, a análise de imagens de vídeo emerge como uma alternativa viável e promissora (Stacheski; Broch Junior, 2018). O uso cada vez mais disseminado de circuitos fechados de televisão (CFTVs) - tanto públicos quanto privados - têm ampliado oferta de material passível de análise (Pereira, 2017); fornecendo vestígios digitais importantes em um grande número de ocorrências envolvendo sinistros (Lonzetti; Costa, 2023).

Além disso, esse tipo de registro oferece vantagens operacionais importantes: é menos dependente das condições físicas do local e pode dispensar a necessidade de novas visitas técnicas para medições complementares. Consequentemente, os métodos de estimação de velocidade com base em vídeos se põem como um método conveniente e amplamente aceito no âmbito jurídico (Wright et al, 2010), e a confiabilidade dos métodos e estimativas são de grande interesse pela comunidade forense (Kim et al, 2018).

O método tradicional para estimar a velocidade de um veículo que se desloca perpendicularmente à câmera pressupõe que o deslocamento entre dois ou mais quadros pode ser medido diretamente, com base na sobreposição de imagens, na medição do deslocamento ou com a comparação de marcos espaciais existentes na imagem. A escala temporal, por sua vez, pode ser obtida a partir da taxa de quadros por segundo (qps) da gravação. Entretanto essa abordagem assume condições ideais raramente encontradas na prática.

Na realidade, os vídeos frequentemente registram a cena sob ângulos inclinados em relação ao plano de deslocamento dos veículos. Tal configuração introduz desafios adicionais, pois a projeção do espaço tridimensional real em um plano bidimensional (como ocorre nas gravações) gera perda de informação e pode gerar distorções significativas. Exemplos disso incluem trajetórias retilíneas no espaço real que, quando projetadas na imagem, aparentam ser curvas, e alterações na percepção de proporções e distâncias.

2.1 Requisitos da gravação

A aplicação do método descrito neste artigo requer que a gravação analisada atenda certas condições, a saber:

- a. Fonte estática de gravação com visualização da lateral do veículo;

- b. Resolução suficiente para que elementos característicos do veículo sejam identificados, ou ao menos os elementos do veículo que serão utilizados;
- c. O veículo deve apresentar uma trajetória regular. Para fins deste método se considera como trajetória regular aquela em que a distância entre o veículo e a fonte de captação não varie de forma abrupta, como ocorre em situações de derrapagem, capotamento ou rotações bruscas de veículos.
Embora uma trajetória retilínea seja preferencial, trajetórias curvas também são aceitas desde que eixo traseiro siga o mesmo percurso que o descrito pelo eixo dianteiro e satisfaçam as condições descritas acima;
- d. O modelo exato do veículo deve ser conhecido. Esta restrição possibilita o uso de sua métrica na análise.

2.2 Ferramentas utilizadas

A execução do método requer ferramentas que permitam a extração de quadros (*frames*) da gravação, analisar os quadros de forma a se obter a posição de objetos em um sistema de coordenadas adequado, geração de tabelas e gráficos, bem como a aplicação de ajustes matemáticos aos dados obtidos.

Considerando a ampla variedade de softwares e métodos disponíveis para essas finalidades, este trabalho não faz recomendações específicas quanto às ferramentas a serem utilizadas, cabendo ao analista optar por aquelas com as quais possui maior familiaridade ou disponibilidade de acesso.

3 METODOLOGIA

A fim de facilitar a compreensão do procedimento, o método apresentado foi segmentado em seis etapas.

- i. Extração dos quadros da gravação;
- ii. Análise dos quadros e obtenção da posição dos objetos de interesse;
- iii. Ajuste das posições e distância percorrida na imagem;
- iv. Identificação da escala métrica;
- v. Identificação da distância real percorrida e interpolação;
- vi. Obtenção da velocidade instantânea do veículo.

Nas subseções a seguir, cada etapa do procedimento é descrita e comentada.

3.1 Primeira etapa, extração dos quadros da gravação

Esta é possivelmente a etapa mais simples do processo, demandando apenas a aplicação direta de um software específico para a extração dos quadros. No entanto, é importante destacar algumas considerações quanto às imagens obtidas. Deve-se estar atento à qualidade e a quantidade dos quadros extraídos, assegurando que a resolução seja compatível com a gravação original e que o número de quadros extraídos seja compatível com a taxa de quadros por segundo (FPS – frames per second) indicada nas propriedades da gravação. A integridade dessas características é essencial para a precisão e análise nas etapas seguintes.

3.2 Segunda etapa, análise dos quadros e obtenção da posição dos objetos de interesse

Esta etapa corresponde a mais trabalhosa do processo, pois envolve a seleção de dois pontos de referência no veículo e em sequência a obtenção de suas posições nos quadros extraídos do vídeo. Para fins de padronização do texto, esses pontos serão referidos como pontos 1 e 2.

A seleção criteriosa dos pontos 1 e 2 é fundamental uma vez que servem para estabelecer a escala métrica utilizada em etapas seguintes – ou seja, a conversão de medidas em pixels observadas nas imagens para distâncias reais do espaço físico, e consequentemente, as velocidades obtidas sejam representativas das condições reais do evento.

Como critério de escolha, recomenda-se que os referidos pontos atendam os seguintes critérios:

- Altura em relação ao solo: os pontos devem estar localizados no mesmo plano horizontal
- Facilidade de identificação nas imagens: devem ser visíveis e distinguíveis nas imagens durante o deslocamento do veículo. Ressalta-se que não é necessário que estejam presentes em todas as imagens, mas que sejam perceptíveis ao longo do deslocamento.
- Distância conhecida entre os pontos: a separação dos pontos no espaço real deve ser conhecida, podendo ser obtida através das especificações do veículo ou através de medidas realizadas no mesmo.

Os critérios acima visam a garantia de uma referência estável e confiável no processo.

Por fim, também deve ser escolhido um sistema de coordenadas e escala para medir a posição dos pontos. O sistema deve ser fixo e facilmente reproduzível entre as imagens, garantindo a uniformidade no tratamento. Os autores sugerem que o sistema de coordenadas tenha origem em um dos cantos da imagem e como escala sejam utilizados pixels.

Uma vez definidos os pontos 1 e 2, a escala e o sistema de coordenadas, inicia-se a varredura dos quadros extraídos. Para cada quadro analisado deve-se registrar em uma tabela o número sequencial do quadro analisado (em ordem cronológica), as coordenadas dos pontos 1 e 2, bem como suas incertezas.

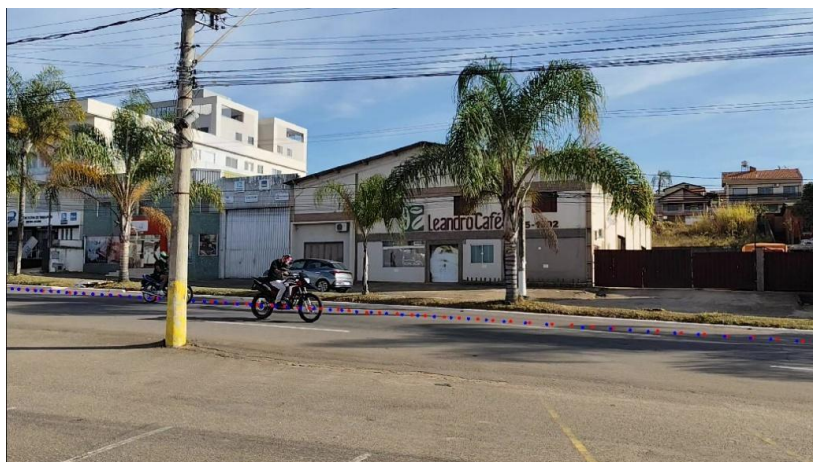
As figuras a seguir apresentam o quadro de uma gravação realizada e analisada pelos autores e uma tabela com os dados das posições do centro das rodas de uma motocicleta, com o objetivo de ilustrar de forma prática, o resultado desta etapa. Os pontos utilizados neste exemplo atendem aos critérios estabelecidos previamente, e possuem como referencial a distância entre-eixos do veículo, especificada pelo fabricante - sendo essa uma escolha recomendada pelos autores.

Figura 1 – Captura parcial de tela mostrando uma tabela exemplificativa obtida ao final da etapa 2.

Quadro	Roda dianteira				Roda traseira			
	x (px)	Ex(px)	y	Ey(px)	x	Ex(px)	y	Ey(px)
235	14	3	420	3				
236	31	3	419	3				
237	49	3	418	3				
238	67	3	416	3				
239	87	3	415	3	15	3	419	3
240	107	3	413	3	30	3	418	3
241	123	3	413	3	50	3	417	3
242	149	3	410	3	69	3	415	3
243	164	3	410	3	83	3	415	3
244	184	3	408	3	105	3	414	3
245	205	3	407	3	124	3	413	3
246	225	3	406	3	143	3	411	3
247	243	3	405	3	163	3	409	3
248	266	3	403	3	182	3	408	3
249	290	3	401	3	204	3	407	3

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Figura 2 – Quadro retirado de gravação realizada pelos autores ilustrando a marcação do centro das rodas. Pontos vermelhos indicam a posição da roda dianteira e pontos azuis indicam a posição da roda traseira.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

3.3 Terceira etapa, ajuste das posições e distância percorrida na imagem

Esta é uma etapa que tem início com a consolidação dos dados referentes às posições dos pontos 1 e 2. Em seguida esses dados são representados graficamente, permitindo a visualização da trajetória do veículo na imagem.

A próxima ação consiste no ajuste desses dados por meio de uma função a ser escolhida pelo analista, expressando uma coordenada em função da outra. Para fins de padronização, na sequência deste artigo a função será referida como $f(x)$, representando a coordenada y (geralmente a vertical) em função de x (tipicamente a horizontal).

Figura 3 – Quadro retirado de gravação realizada pelos autores ilustrando o ajuste das posições, representado pela linha verde.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Uma vez ajustada a função que descreve a trajetória, deve-se escolher um ponto de referência inicial sobre ela. A partir desse ponto é possível calcular a distância percorrida ao longo da trajetória até os pontos registrados através da Equação 1, na qual d_{im} é a distância percorrida ao longo da trajetória do veículo, x_0 é a projeção no eixo x do ponto de referência na trajetória e x_i é a projeção no eixo x do ponto analisado.

$$d_{im} = \int_{x_0}^{x_i} \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2} dx \quad (1)$$

Os valores obtidos por meio dessa equação alimentam duas novas colunas adicionadas à tabela construída na etapa anterior, correspondendo a distância percorrida ao longo da trajetória para cada posição dos pontos 1 e 2.

3.4 Quarta etapa, identificação da escala métrica

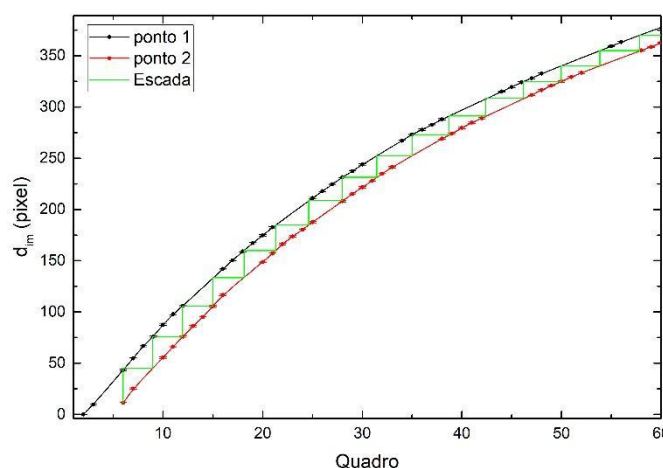
Nesta etapa recomenda-se a geração de um gráfico representando as distâncias percorridas pelos pontos 1 e 2 em função do número do quadro analisado. Em seguida, cada conjunto de dados deve ser ajustado com uma função adequada, a ser escolhida pelo analista conforme o comportamento observado.

Conforme estabelecido nas etapas anteriores, a diferença vertical entre as curvas resultantes, ainda que varie no gráfico, representa no espaço físico real uma constante: a separação física entre os dois pontos 1 e 2.

A partir do ponto mais à esquerda da curva inferior, realiza-se um deslocamento vertical até interceptar a curva superior. Em seguida, efetua-se um deslocamento horizontal até interceptar a curva inferior, e repete-se o processo sequencialmente. Esta operação resulta, graficamente, em uma linha descontínua, em formato de escada, conectando os dois conjuntos de dados.

Uma nova tabela é construída com os dados dessa operação. A primeira coluna é alimentada com os valores da distância percorrida na imagem (d_{im}) dos pontos correspondentes a cada degrau da escada. Considerando que cada degrau vertical equivale, por definição, à distância entre os pontos 1 e 2, a segunda coluna é preenchida pela multiplicação de um número inteiro (associado a ordem do degrau) pela referida distância dos pontos. Deste modo, estabelece-se uma relação direta entre o deslocamento medido na imagem e o deslocamento real do veículo.

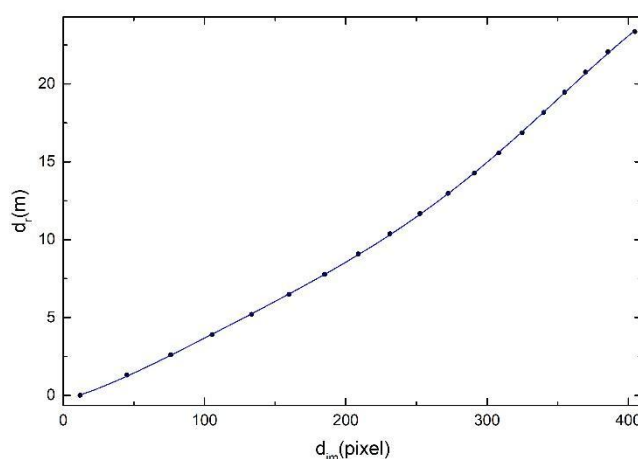
Figura 4 – Gráfico exemplificativo da distância percorrida na imagem (d_{im}) dos pontos 1 e 2 em função do quadro



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Os dados obtidos nessa tabela devem ser ajustados por meio de uma função que modele adequadamente as variáveis. No contexto deste trabalho, essa função será designada como $D(d_{im})$, representando a conversão entre a distância observada na imagem e a distância percorrida no espaço físico.

Figura 5 – Gráfico exemplificativo da distância real percorrida pelo veículo (d_r) em função da distância percorrida na imagem (d_{im}).



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

3.5 Quinta etapa, identificação da distância real percorrida e interpolação

Esta é, possivelmente, a etapa mais ágil do método.

Retomando a tabela iniciada na etapa 2, são adicionadas duas novas colunas, correspondentes aos pontos 1 e 2. Cada uma dessas colunas recebe o valor resultante da aplicação da função $D(d_{im})$, obtida na etapa anterior, sobre

as respectivas distâncias percorridas na imagem.

Deste modo realiza-se a conversão direta do deslocamento observado na imagem para distâncias reais percorridas no espaço físico.

3.6 Sexta etapa, obtenção da velocidade instantânea do veículo

Nesta etapa, os números dos quadros extraídos são convertidos em valores de tempo real, utilizando como base a taxa de quadros por segundo (*qps*) informada nas propriedades da gravação, conforme Equação 2, na qual n_i é o número do quadro analisado e n_0 é o número do quadro de referência. Esta conversão pode ser aplicada em gravações realizadas a uma taxa de quadros por segundo constante e permite associar cada posição a um instante específico de tempo.

$$t = \frac{n_i - n_0}{qps} \quad (2)$$

Com a posição dos pontos definida em função do tempo, realiza-se a interpolação dos dados por meio de uma função contínua. A derivada dessa função em relação ao tempo fornece a velocidade instantânea do veículo ao longo do trecho analisado, permitindo uma avaliação precisa da variação do seu movimento durante o deslocamento.

3.7 Considerações

3.7.1 Ajustes e interpolações

Neste ponto é importante destacar a necessidade de criteriosa seleção das funções utilizadas nos ajustes e interpolação dos dados. A escolha da função mais adequada não deve se basear exclusivamente na minimização do parâmetro χ^2 (qui-quadrado), pois este indicador não garante por si só que a função reflita adequadamente o comportamento do sistema analisado.

A utilização de funções excessivamente complexas pode gerar oscilações artificiais entre os pontos, as quais não representam variações reais na trajetória, escala ou movimento do veículo. Essas distorções comprometem a fidelidade dos resultados.

Essa atenção é especialmente relevante em métodos como o proposto neste trabalho, nos quais ajustes são realizados em múltiplas etapas, sendo cada uma dependente da anterior. Assim, escolhas inadequadas podem acumular erros e afetar significativamente as etapas seguintes.

3.7.2 Propagação de erros

O ponto inicial do método proposto neste artigo depende da capacidade do analista em identificar e marcar as posições dos pontos de referência do veículo nos quadros. Embora essa tarefa apresente uma premissa simples, ela carrega desafios relevantes como limitações de nitidez, baixa resolução, iluminação deficiente, distorções óticas, artefatos e borrões de movimento, podendo comprometer significativamente a acurácia da marcação dos pontos.

Diante disso, as posições estimadas devem estar acompanhadas de incertezas associadas. Essas incertezas devem ser incorporadas aos algoritmos de interpolação ou ajustes utilizados, que permitam o tratamento explícito de incertezas, permitindo que parâmetros derivados também apresentem incertezas propagadas.

A integral presente na Equação 1 merece atenção especial quanto à propagação de erros em razão de sua natureza não linear. Recomenda-se o uso de métodos numéricos nos quais a incerteza em cada contribuição a integral pode ser estimada separadamente e acumulada ao longo da trajetória.

Esses cuidados são essenciais para garantir que os valores finais – deslocamento ou velocidade – estejam acompanhados de estimativas confiáveis de incerteza.

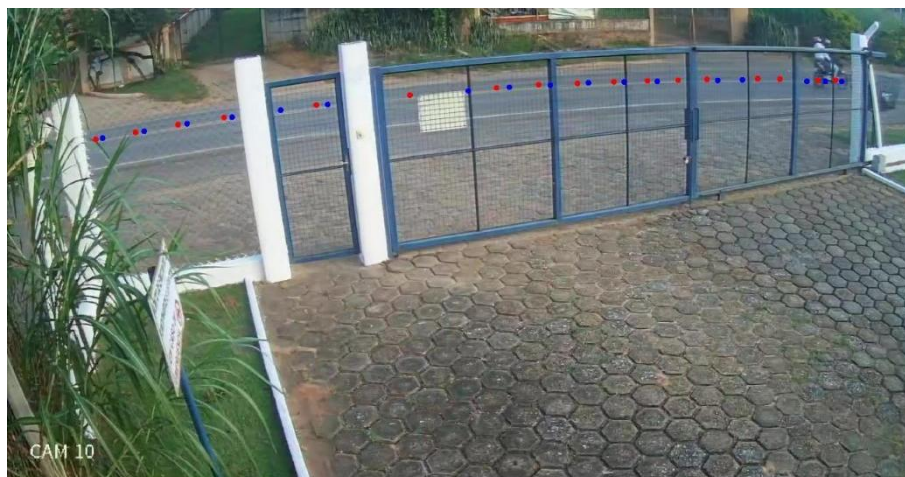
Além da incerteza da posição, também é necessário considerar a incerteza associada ao tempo entre os quadros. Uma boa prática consiste em verificar se o vídeo possui carimbos de tempo por quadro (ou *frame timestamp* no termo em inglês). Quando presente, o carimbo de quadro permite reconstruir com mais precisão a escala temporal dos quadros, sendo possível estimar a incerteza estatisticamente através da variância dos intervalos entre os quadros. Alternativamente, a presença de rótulo na gravação que apresente o horário da gravação pode ser utilizado para validar a taxa de quadros efetiva.

3.8 Aplicação prática

O método proposto foi aplicado na análise de um vídeo contendo o deslocamento de uma motocicleta em trajetória aproximadamente retilínea. Como pontos de referência foram selecionados os centros das rodas dianteira e traseira, cuja distância real (entre-eixos) foi obtida a partir das especificações do fabricante, conforme discutido na seção 3.2. A Figura 6 apresenta um dos quadros do vídeo analisado, evidenciando a marcação dos pontos de interesse.

A partir da varredura dos quadros sucessivos, foram extraídas as posições dos pontos de interesse e compiladas em tabela. Os dados obtidos incluem as coordenadas em pixels dos centros das rodas, acompanhados das incertezas atribuídas à marcação visual.

Figura 6 – Quadro retirado de gravação analisada mostrando as posições dos pontos de referência nos quadros, representados pelos pontos vermelhos e azuis.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Em seguida, procedeu-se à interpolação das trajetórias, utilizando função polinomial de quarto grau, por apresentar o melhor ajuste aos dados. A integral apresentada na Equação 1 foi aplicada à função interpoladora, resultando nas distâncias percorridas sobre a trajetória projetada no plano da imagem. Esses valores alimentaram novas colunas na tabela.

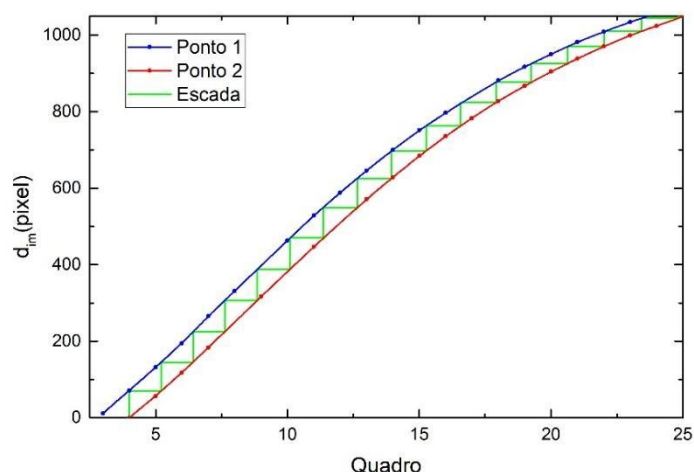
Figura 7 – Captura parcial de tela mostrando a tabela obtida após a adição das colunas com as distâncias percorridas nas imagens.

Quadro	Roda dianteira						Roda traseira					
	x(px)	Ex(px)	y	Ey(py)	d(px)	Ed(px)	x(px)	Ex(px)	y	Ey(px)	d(px)	Ed(px)
3	135,8333	1,2	486,6667	1,2	11,05371	0,86579	--	--	--	--	--	--
4	195,15	1,2	497,8	1,2	71,43471	0,86416	125	1,2	484,6667	1,2	0	0,86614
5	254,5	1,2	507	1,2	131,6443	0,86285	180,8	1,2	495,1667	1,2	56,84782	0,86452
6	316,5	1,2	517,6667	1,2	194,3673	0,86177	241	1,2	505,5	1,2	117,9645	0,86312
7	387	1,2	526,6667	1,2	265,5181	0,8608	305,3	1,2	516	1,2	183,0482	0,86194
8	452,1667	1,16	534,4	1,16	331,1579	0,84608	--	--	--	--	--	--
9	--	--	--	--	--	--	437,6667	1,12	534	1,12	316,5618	0,83245
10	583,3333	1,08	548,6667	1,08	462,9971	0,81793	--	--	--	--	--	--
11	648,5	1,04	552,5	1,04	528,3904	0,80444	567,4	1,04	546,8	1,04	446,9986	0,80485
12	708,1667	1	558,1667	1	588,2144	0,79135	--	--	--	--	--	--
13	765,8667	1	561,3333	1	646,0269	0,79115	691,4	1	557,2	1	571,408	0,79141
14	819,8	0,9	564,5	0,9	700,0343	0,7603	748,1667	0,9	560,8333	0,9	628,2962	0,76048
15	871,2	0,8	565,9	0,8	751,4806	0,73165	804,1667	0,8	564,3333	0,8	684,3823	0,73178
16	917	0,7	567	0,7	797,305	0,70547	855,5	0,7	566,1667	0,7	735,7687	0,70555
17	--	--	--	--	--	--	903,1	0,7	567,6	0,7	783,399	0,70549
18	1001,667	0,7	568,5	0,7	881,9867	0,70541	947,8333	0,7	569,6667	0,7	828,1474	0,70544
19	1036,833	0,65	569,1667	0,65	917,1537	0,69334	987	0,65	569,1667	0,65	867,3193	0,69335
20	1070	0,65	568,6667	0,65	950,321	0,69335	1024,3	0,65	569,8	0,65	904,6204	0,69334
21	1101,667	0,6	568,3333	0,6	981,9915	0,68201	1058,4	0,6	570	0,6	938,7205	0,68198
22	1128,5	0,6	568,1667	0,6	1008,833	0,68203	1090,15	0,6	570,1	0,6	970,473	0,682
23	1153,8	0,6	567,1667	0,6	1034,147	0,68207	1119,15	0,6	569,4	0,6	999,4796	0,68202
24	1176,667	0,6	566,3333	0,6	1057,033	0,68211	1143,8	0,6	568,2	0,6	1024,141	0,68205
25	--	--	--	--	--	--	1168	0,6	567,3333	0,6	1048,358	0,6821
26	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
28	1250,333	0,6	562,6667	0,6	1130,831	0,68234	--	--	--	--	--	--
29	1266	0,6	560,6667	0,6	1146,544	0,68241	--	--	--	--	--	--

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Para converter as distâncias percorridas na imagem em medidas reais, foi construída a função de calibração $D(d_{im})$. A partir da diferença constante entre os pontos de referência selecionados (Figura 8), elaborou-se uma tabela relacionando o deslocamento observado em pixels com a distância real correspondente. A Figura 9 apresenta essa tabela, enquanto a Figura 10 ilustra os valores representados graficamente e ajustados por meio de uma função interpoladora. Esse procedimento estabelece de forma objetiva a relação entre o deslocamento na imagem e o deslocamento físico, constituindo etapa essencial para a determinação da velocidade.

Figura 8 – Gráfico da distância percorrida na imagem (d_{im}) dos pontos 1 e 2 em função do quadro.



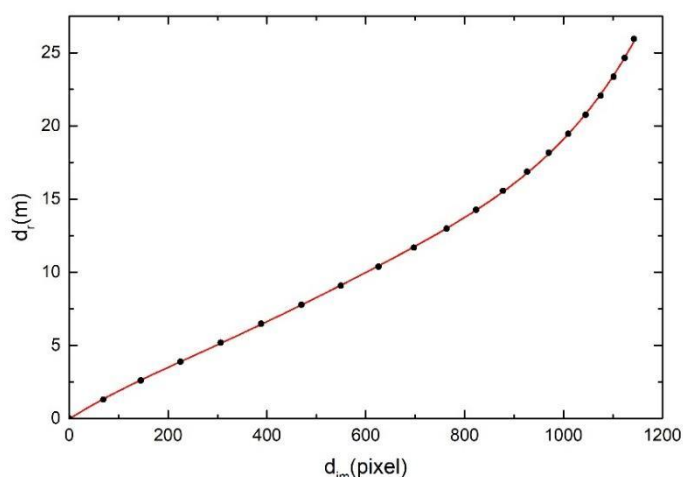
Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Figura 9 – Captura parcial de tela mostrando a tabela com os dados de deslocamento na imagem e deslocamento real.

d(px)	D(m)
0	0
69,19559	1,297
145,1465	2,594
225,0726	3,891
306,629	5,188
388,4839	6,485
469,7538	7,782
549,3403	9,079
625,7636	10,376
697,513	11,673
763,5559	12,97
823,5701	14,267
877,7872	15,564
926,6616	16,861
970,6084	18,158
1009,903	19,455
1044,716	20,752
1075,199	22,049
1101,547	23,346
1123,979	24,643
1142,69	25,94

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Figura 10 – Gráfico da distância real percorrida pelo veículo (d_r) em função da distância percorrida na imagem (d_{im}).



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Observa-se que a variação na taxa de deslocamento aparente ao longo da trajetória está associada ao efeito de perspectiva da câmera: objetos próximos ao equipamento apresentam maior variação em pixels entre quadros consecutivos, enquanto objetos mais distantes exibem variações menores, ainda que o deslocamento real entre os quadros seja o mesmo.

Após a obtenção da função $D(d_{im})$, foram acrescentadas à tabela em elaboração duas colunas correspondentes aos deslocamentos reais das rodas. Para a definição da escala temporal, utilizou-se a taxa de quadros por segundo da gravação, conforme a Equação 2, cujos resultados foram incorporados em uma nova coluna. A Figura 11 apresenta a tabela resultante após essas inclusões.

Figura 11 – Captura parcial de tela mostrando a tabela após a adição das colunas com o tempo e as distâncias reais percorridas.

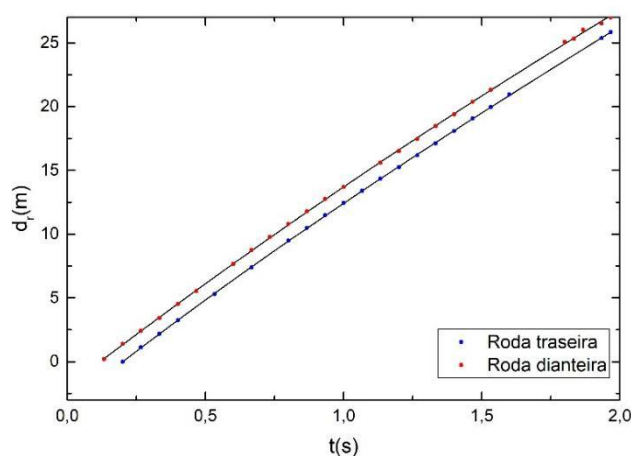
tempo (s)	Quadro	Roda dianteira							Roda traseira						
		x(px)	Ex(px)	y	Ey(py)	d(px)	Ed(px)	Dr(m)	x(px)	Ex(px)	y	Ey(py)	d(px)	Ed(px)	Dr(m)
0,2	3	135,8333	1,2	486,6667	1,2	11,05371	0,86579	0,20297							
0,266667	4	195,15	1,2	497,8	1,2	71,43471	0,86416	1,37954	125	1,2	484,6667	1,2	0	0,86614	0
0,333333	5	254,5	1,2	507	1,2	131,6443	0,86285	2,41229	180,8	1,2	495,1667	1,2	56,84782	0,86452	1,1112
0,4	6	316,5	1,2	517,6667	1,2	194,3673	0,86177	3,4102	241	1,2	505,5	1,2	117,9645	0,86312	2,1861
0,466667	7	387	1,2	526,6667	1,2	265,5181	0,8608	4,50892	305,3	1,2	516	1,2	183,0482	0,86194	3,2334
0,533333	8	452,1667	1,16	534,4	1,16	331,1579	0,84608	5,52814							
0,6	9	--	--	--	--	--	--	--	437,6667	1,12	534	1,12	316,5618	0,83245	5,2998
0,666667	10	583,3333	1,08	548,6667	1,08	462,9971	0,81793	7,6516							
0,733333	11	648,5	1,04	552,5	1,04	528,3904	0,80444	8,74807	567,4	1,04	546,8	1,04	446,9986	0,80485	7,3876
0,8	12	708,1667	1	558,1667	1	588,2144	0,79135	9,77592							
0,866667	13	765,8667	1	561,3333	1	646,0269	0,79115	10,79508	691,4	1	557,2	1	571,408	0,79141	9,4846
0,933333	14	819,8	0,9	564,5	0,9	700,0343	0,7603	11,77883	748,1667	0,9	560,8333	0,9	628,2962	0,76048	10,4793
1	15	871,2	0,8	565,9	0,8	751,4806	0,73165	12,75871	804,1667	0,8	564,3333	0,8	684,3823	0,73178	11,4898
1,066667	16	917	0,7	567	0,7	797,305	0,70547	13,68396	855,5	0,7	566,1667	0,7	735,7687	0,70555	12,4538
1,133333	17	--	--	--	--	--	--	--	903,1	0,7	567,6	0,7	783,399	0,70549	13,3967
1,2	18	1001,667	0,7	568,5	0,7	881,9867	0,70541	15,60255	947,8333	0,7	569,6667	0,7	828,1474	0,70544	14,3453
1,266667	19	1036,833	0,65	569,1667	0,65	917,1537	0,69334	16,51648	987	0,65	569,1667	0,65	867,3193	0,69335	15,2448
1,333333	20	1070	0,65	568,6667	0,65	950,321	0,69335	17,46544	1024,3	0,65	569,8	0,65	904,6204	0,69334	16,1808
1,4	21	1101,667	0,6	568,3333	0,6	981,9915	0,68201	18,46787	1058,4	0,6	570	0,6	938,7205	0,68198	17,1227
1,466667	22	1128,5	0,6	568,1667	0,6	1008,833	0,68203	19,40508	1090,15	0,6	570,1	0,6	970,473	0,682	18,0912
1,533333	23	1153,8	0,6	567,1667	0,6	1034,147	0,68207	20,37467	1119,15	0,6	569,4	0,6	999,4796	0,68202	19,0685
1,6	24	1176,667	0,6	566,3333	0,6	1057,033	0,68211	21,33283	1143,8	0,6	568,2	0,6	1024,141	0,68205	19,9807
1,666667	25	--	--	--	--	--	--	--	1168	0,6	567,3333	0,6	1048,358	0,6821	20,9599
1,733333	26	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,8	27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,866667	28	1250,333	0,6	562,6667	0,6	1130,831	0,68234	25,06933							
1,933333	29	1266	0,6	560,6667	0,6	1146,544	0,68241	26,01668							

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Com base na escala temporal e nas distâncias percorridas, foi construída a curva de deslocamento em função do tempo (Figura 12). Em seguida, os pontos foram ajustados por meio de uma função polinomial de terceiro grau, cuja derivada em relação ao tempo forneceu a estimativa da velocidade instantânea, representada graficamente na Figura 13. A curva obtida evidencia a aplicabilidade do método na determinação da velocidade ao longo de toda a trajetória do veículo. No estudo de caso analisado, as velocidades estimadas variaram entre 60 km/h e 46 km/h, valores compatíveis tanto com a dinâmica observada quanto com as condições relatadas, além de coerentes com o limite regulamentar da via.

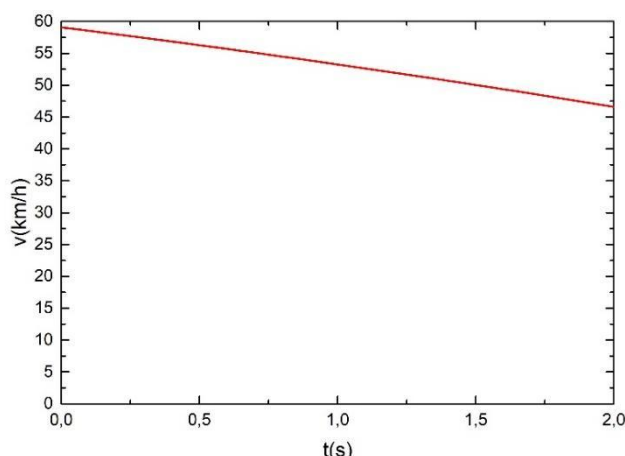
Cumprir destacar que a aplicação do método e a confiabilidade dos resultados estão diretamente condicionadas à qualidade do vídeo analisado. Aspectos como o ângulo de filmagem, a resolução das imagens e as condições de iluminação podem exercer influência significativa sobre a precisão das estimativas. Tais fatores configuram limitações práticas que devem ser consideradas na utilização do método.

Figura 12 – Gráfico da distância real percorrida em função do tempo.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Figura 13 – Gráfico da velocidade instantânea obtida pela aplicação do método apresentado.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

4 CONCLUSÃO

O método apresentado neste artigo oferece uma alternativa prática para estimar a velocidade de veículos através de gravações de vídeo, dispensando a necessidade de retorno ao local para exames complementares. Sua aplicação é especialmente útil em situações nas quais o perito sofre com restrições de deslocamento, tempo ou locais que sofreram com modificações após o fato.

Os autores reconhecem que existem diferentes métodos válidos para esse tipo de análise. A proposta apresentada não tem como objetivo substituir outras técnicas já consolidadas, com vantagens e limitações conhecidas, apresentando por vezes cenários de melhor aplicabilidade. O intuito é oferecer ao perito uma ferramenta adicional, baseada em princípios geométricos simples, recursos amplamente acessíveis e de fácil reprodução.

Além disso, espera-se que o estudo das etapas proporcione ao perito uma melhor compreensão sobre o cálculo realizado, permitindo não apenas sua aplicação direta, mas também a adaptação do procedimento conforme as características específicas do caso analisado – o que exige rigor técnico e flexibilidade por parte do analista.

Dessa forma, busca-se contribuir para a prática pericial com um método claro, reproduzível, transparente e que favoreça a autonomia técnica do profissional responsável pela análise.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei 9.503/97, de 23 de setembro de 1.997.** Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: 23 Set. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9503.htm>. Acesso em: 01 de ago. de 2025.

CERQUEIRA, Daniel; BUENO, Samira (coord.). **Atlas da Violência 2025.** Brasília: Ipea; FBSP, 2025. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/publicacoes>>. Acesso em: 01 de ago. de 2025.

DUQUE, Daniel. TRIPPI, Pedro. **Um diagnóstico sobre os acidentes de trânsito no Brasil em 2023.** Inteligência Técnica do Centro de Liderança Pública (CLP). 15 de jun. 2024. Disponível em: <<https://clp.org.br/um-diagnostico-sobre-os-acidentes-de-transito-no-brasil-em-2023/>>. Acesso em: 30 de jul. de 2025.

GOMES L.F. Macedo, N. Quanto Mais Velocidade, Maior a Tragédia. **Instituto Avante Brasil.** São Paulo, 25 de abr. De 2011. Disponível em: <<http://www.institutoavantebrasil.com.br>>. Acesso em: 31 de jul. de 2025

GURGEL, Walldiney Pedra. GOMES, Luiz Moreira. FERREIRA, Fernanda. GESTER, Rodrigo. Cálculo de velocidades em acidentes de trânsito: Um software para investigação em física forense. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 4, 4305-1, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7209>>. Acesso em: 01 de ago. de 2025.

KIM, Jong-Hyuk. OH, Won-Taek. CHOI, Ji-Hun. PARK, Jong-Chan. Reliability verification of vehicle speed estimate method in forensic videos, **Forensic Science International**, v. 287, p. 195–206. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.04.002>>. Acesso em: 31 de jul. de 2025.

LONZETTI, Fernando Henrique. COSTA, Márcio Holsbach. Método da razão cruzada generalizada para aplicação forense de medição de velocidade. **XLI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS - SBrT 2023.** São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/374987780_Metodo_da_Razao_Cruzada_Generalizada_para_Aplicacao_Forense_de_Medicao_de_Velocidade> Acesso em: 31 de jul. de 2025.

MENDES, Edvandro. **Cálculo de velocidade baseado em imagem de vídeos através de software livre.** Monografia (Pós-graduação Lato Sensu) – Especialização em Perícia de Acidentes - Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/648>>. Acesso em: 30 de jul. de 2025.

PAULA, Wallisson Hugo. **Medição de velocidade de veículos utilizando visão computacional.** Monografia (Engenharia de Controle e Automação) —

Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 54. 2019. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2607/1/MONOGRAFIA_MedicaoVelocidadeVeiculos.pdf>. Acesso em: 31 de jul. de 2025.

PEREIRA, Vilsom de Souza. **Identificação da velocidade de veículos através de imagens gravadas em vídeo**. Monografia (Pós-graduação Latu Sensu) – Especialização em Perícias de Acidentes de Trânsito, Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 32. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/794>>. Acesso em: 31 de jul. de 2025.

STACHESKI, Igor Carneiro. BROCH JUNIOR, Oscar. **Deteção e estimativa de velocidade veicular através de processamento de imagem**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, p. 56. 2018. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16255>>. Acesso em: 31 de jul. de 2025.

TORESAN Jr, Wilson. **Metodologias para cálculo de velocidades em acidentes de trânsito com motocicletas**. Instituto de Física; Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237504251_Metodologias_para_Calculo_de_Velocidades_em_Acidentes_de_Transito_com_Motocicletas>. Acesso em: 01 de ago. de 2025.

VIANA, Rubens Moreira. **Perícia Física de Acidentes de Trânsito**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) - Departamento de Física, Universidade Federal de Rondônia. Ji-Paraná, p. 48. 2009.

VIEIRA, Tales Giuliano. FRAGA, GUSTAVO Henrique Canedo. MARINHO, Paulo Elpídio de Alvarenga. Análise de imagens na determinação de velocidades de entrada em perícias de trânsito. **Revista Criminalística e Medicina Legal**, v. 1, n. 1, p. 12–16. 2016. Disponível em: <<https://revistacml.com.br/2017/01/10/analise-de-imagens-na-determinacao-de-velocidades-de-entrada-em-pericias-de-transito/>>. Acesso em: 30 de jul. de 2025.

WRIGHT, David. FRIEDEWALD, Michael. GUTWIRTH, Serge. LANGHEINRICH, Marc. MORDINI, Emilio. BELLANOVA, Rocco. HERT, Paul De. WADHWA, Kush. BIGO, Didier. Sorting out smart surveillance, **Computer Law and Security Review**, v. 26, n. 4, p. 343–354, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.clsr.2010.05.007>>. Acesso em: 30 de jul. de 2025.