



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS**

**MARGEM DE ERRO DO CÁLCULO DE VELOCIDADE A PARTIR DOS  
VESTÍGIOS EM ACIDENTES DE TRÂNSITO COM TACÓGRAFO  
PRESENTE**

**APOLLO NOBRE TORRES**

**LAVRAS-MG  
2019**

**APOLLO NOBRE TORRES**

**MARGEM DE ERRO DO CÁLCULO DE VELOCIDADE A PARTIR DOS  
VESTÍGIOS EM ACIDENTES DE TRÂNSITO COM TACÓGRAFO  
PRESENTE**

Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Lavras como parte das  
exigências do Curso de Pós-Graduação em  
Ciências Forenses.

**ORIENTADOR**

Prof. Dr. Tales Giuliano Vieira

**LAVRAS-MG  
2019**

## Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS

Monografia intitulada: “**Margem de erro do cálculo de velocidade a partir dos vestígios em acidentes de trânsito com tacógrafo presente**”, de autoria do pós-graduando **Apollo Nobre Torres**, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof. Dr. Tales Giuliano Vieira  
(professor orientador)

---

Prof. Dr. André Luís Gonçalves Costa  
(professor convidado)

Aprovada em.....de.....de 2019.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1 Responsabilidade nos acidentes de trânsito e a realização de perícia .....	12
2.2 Vestígios nos locais de sinistros veiculares.....	13
2.3 Tacógrafos .....	14
2.4 Cálculos de velocidade.....	17
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	19
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	21
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	26
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	27

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Visão geral de disco-diagrama retirado do tacógrafo de um veículo.....	16
Figura 2	Visão aproximada de disco-diagrama retirado do tacógrafo de um veículo.....	16
Figura 3	Disco-diagrama do tacógrafo de veículo envolvido em colisão.....	17
Figura 4	Fórmula aplicada no Princípio da Conservação da Energia.....	17
Figura 5	Fórmulas aplicadas no Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.....	18
Figura 6	Tela de pesquisa do PCNET.....	19

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Os 10 países com mais fatalidades no trânsito.....	9
Quadro 2	Acidentes de trânsito em rodovias federais e causas presumíveis (2017).....	10
Quadro 3	Velocidades obtidas do tacógrafo e calculadas pelos vestígios dos 61 laudos periciais analisados.....	21

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Comparativo Velocidades obtidas do tacógrafo x Velocidades calculadas pelos vestígios dos 61 laudos periciais analisados.....	23
Gráfico 2	Comparativo Margem de erro entre as velocidades (%) x Monta de danos.....	24
Gráfico 3	Comparativo Margem de erro entre as velocidades (%) x Velocidade (km/h).....	25

## **LISTA DE SIGLAS**

CTB	CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO
DNIT	DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DPVAT	DANOS PESSOAIS CAUSADOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES DE VIA TERRESTRE
OPAS	ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE
PRF	POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL
WHO	WORLD HEALTH ORGANIZATION



## RESUMO

O maior desafio do Perito Criminal em um local de acidente de trânsito é determinar a causa do sinistro veicular, sendo uma das mais presentes o excesso de velocidade. Para o cálculo da velocidade de um veículo e consequente reconstrução da dinâmica do acidente, o profissional forense necessita do máximo de vestígios, tais como marcas de frenagem, fricção e derrapagem que forneçam o subsídio suficiente para a aplicação das fórmulas físicas apropriadas. O objetivo do estudo é selecionar os casos periciais em que havia a presença de tacógrafo e extensa quantidade de vestígios que também permitiam calcular a velocidade do veículo através de fórmulas físicas, podendo assim criar um comparativo dos dados presentes no registrador instantâneo de velocidade e do obtido através de cálculos, a fim de determinar a margem de erro deste segundo. Foram analisados 648 laudos periciais de acidentes de trânsito ocorridos em Minas Gerais no período de 01/06/2016 a 30/05/2018 que envolviam veículos que apresentavam tacógrafo. A partir destes, foram selecionados os documentos que possuíam vestígios suficientes para a realização do cálculo da velocidade por meio de fórmulas físicas. Em seguida, realizou-se a comparação para análise estatística. O estudo resultou na seleção de 61 laudos periciais que possuíam dados suficientes para a comparação das velocidades obtidas por tacógrafo e por cálculo a partir dos vestígios. A margem de erro média obtida através do cálculo pelos dados coletados no local foi de  $\pm 9,9\%$  ou  $\pm 7,1\text{km/h}$  da velocidade aferida no tacógrafo. Em apenas 3,3% dos casos analisados, uma das velocidades se encontrava dentro do limite regulamentado pela via e a outra não, enquanto em 96,7% dos sinistros ambas as velocidades estavam enquadradas dentro ou fora do limite estabelecido por sinalização viária. A pesquisa apontou resultados muito próximos da margem de erro de 10% apontada pela literatura, sendo portanto um método confiável de cálculo. A robustez dos dados obtidos em um local de acidente veicular pelo Perito serão essenciais para a maior precisão do cálculo e redução da margem de erro, entre eles: o pavimento da via, as medidas dos vestígios impressos no leito asfáltico, gramíneo ou arenoso, a condição dos pneus e as características de cada veículo.

**Palavras-chave:** Acidente de trânsito; Cálculo de velocidade; Tacógrafo; Física forense.

## 1 INTRODUÇÃO

O DNIT (2009) define acidente de trânsito como sendo o sinistro que impacta o cidadão ao produzir óbitos, incapacitações físicas e danos materiais, ocasionando ainda traumas psicológicos, os quais poderão ser de intensa e prolongada recuperação.

Mundialmente, as mortes decorrentes de acidentes de trânsito ultrapassaram a barreira de 1,35 milhão no ano em 2018, apresentando crescimento anual em números absolutos há duas décadas. Porém, a taxa relativa vem caindo, ou seja, o número de veículos aumentou mais comparativamente à evolução do número de óbitos (WHO, 2018). A referida organização aponta ainda a letalidade do trânsito como sendo uma das principais causas de mortes, atrás apenas das doenças circulatórias e respiratórias.

O quadro 1 apresenta os 10 países com os maiores índices absolutos de mortes no trânsito:

Quadro 1 – Os 10 países com mais fatalidades no trânsito

PAÍS	FATALIDADES NO TRÂNSITO POR 100.000 HABITANTES/ANO	FATALIDADES TOTAIS EM 2018
CHINA	18.8	261.367
ÍNDIA	16.6	238.562
BRASIL	23.4	46.935
INDONESIA	15.3	38.279
NIGÉRIA	20.5	35.621
ESTADOS UNIDOS	10.6	34.064
RÚSSIA	18.9	27.025
PAQUISTÃO	14.2	25.781
IRÃ	32.1	24.896
TAILÂNDIA	36.2	24.237

Fonte: WHO, 2018.

No âmbito nacional, segundo a LÍDER (2018), responsável por administrar o Seguro DPVAT, de janeiro a dezembro de 2018 foram pagas 38.121 indenizações por mortes no trânsito brasileiro, sendo metade para ocupantes de motocicletas e três quartos para vítimas do sexo masculino. Os índices classificam o Brasil na 3ª

colocação mundial em mortes no trânsito, atrás apenas de Índia e China, os dois países com populações acima de um bilhão.

No intuito de reduzir esses números, organizações estatais e não governamentais estudam os principais fatores de risco que causam acidentes no trânsito ou que potencializam a possibilidade de óbito, sendo identificados o erro humano, a velocidade, a condução sob influência de álcool e outras substâncias, a não utilização de equipamentos de segurança (capacetes/cintos), direção distraída, infraestrutura viária insegura, veículos inseguros e cumprimento insuficiente das normas/leis de trânsito (OPAS, 2019).

Responsável pela fiscalização das rodovias federais, a PRF (2017) elaborou relatório com as causas presumíveis dos acidentes atendidos pelos seus agentes, onde constatou a falta de atenção à condução como a principal causa dos sinistros veiculares, seguido por velocidade incompatível com a via. Em muitos casos, uma só causa não foi responsável pela ocorrência do evento, mas a associação de várias, como uma ultrapassagem em local proibido agravada pelo excesso de velocidade. O quadro 2 ilustra as causas constatadas:

Quadro 2 – Acidentes de trânsito em rodovias federais e causas presumíveis (2017)

<b>Dados de Acidentes pela Causa, 2017</b>			
<b>Causa Presumível</b>	<b>Acidentes</b>	<b>Feridos</b>	<b>Mortos</b>
Animais na Pista	2.611	2.012	103
Avaria no Pneu	1.586	1.854	57
Carga Mal Acondicionada	545	240	17
Condutor Dormindo	3.796	3.629	371
Defeito Mecânico no Veículo	4.640	3.149	101
Defeito na Via	1.416	1.307	91
Deficiência ou não Acionamento do Sistema de Iluminação/Sinalização do Veículo	234	310	32
Desobediência à Sinalização	5.195	5.999	399
Falta de Atenção à Condução	34.406	32.942	1.844
Falta de Atenção do Pedestre	2.381	2.142	712
Fenômenos da Natureza	440	289	29
Ingestão de Álcool	6.441	6.023	455
Ingestão de Substâncias Psicoativas	78	68	17
Mal Súbito	967	894	170
Não guardar distância de segurança	5.816	5.076	107
Obstáculo Estático sobre a Via	768	670	37
Pista Escorregadia	4.237	3.672	153
Restrição de Visibilidade	880	898	97
Sinalização da via insuficiente ou inadequada	411	391	20
Ultrapassagem Indevida	2.050	2.755	425
Velocidade Incompatível	10.420	9.658	1.007
<b>Total Geral</b>	<b>89.318</b>	<b>83.978</b>	<b>6.244</b>

Fonte: PRF, 2017.

Na esteira desse problema e suas causas mencionadas, os governos criam legislações cada vez mais rigorosas para coibir práticas perigosas dos condutores, sendo o excesso de velocidade uma das mais abarcadas pelas normas de trânsito.

O Código de Trânsito Brasileiro, instituído através da Lei nº 9503/1997, deu atenção específica para a questão da velocidade ao regular limites específicos para determinadas vias e estipular a necessidade de redução da velocidade em algumas manobras, como a ultrapassagem, por exemplo (BRASIL, 1997). Foram definidas ainda, as infrações para os condutores que ultrapassassem os limites permitidos na norma, em que as penalidades são proporcionais à velocidade excedida.

Dessa forma, uma ocorrência de trânsito em que haja óbitos ou vítimas graves exigirá uma investigação policial para que sejam determinadas as causas e a possibilidade da existência de crime. Nesse cenário, o principal desafio do Perito Criminal consiste em utilizar metodologias de física forense para determinar a causa do acidente e calcular a velocidade dos veículos envolvidos para constatar se houve excesso e se o mesmo foi determinante da produção do sinistro (GURGEL et al., 2015).

Conforme Almeida (2011), para determinar a velocidade dos automotores, a Perícia Criminal se vale de diversos meios: câmeras de segurança, tacógrafo, vestígios impressos na via. Em situações com o tacógrafo presente, a simples extração do disco do veículo permitirá uma análise *in loco* da velocidade desenvolvida pelo veículo nos instantes pré-colisão e colisão, desde que descartadas adulterações no referido aparelho. Porém, na ausência deste, o profissional se valerá dos vestígios identificados no local dos fatos para calcular a velocidade através de fórmulas físicas.

Entretanto, no cálculo da velocidade exercida por um veículo, o Perito se depara com diversas variáveis que podem influenciar o resultado final, seja para mais ou para menos. Portanto, o objetivo do presente estudo é selecionar os casos periciais em que havia a presença de tacógrafo e extensa quantidade de vestígios que também permitiam calcular a velocidade do veículo através de fórmulas físicas, podendo assim criar um comparativo dos dados presentes no registrador instantâneo de velocidade e do obtido através de cálculos, a fim de determinar a margem de erro deste segundo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Responsabilidade nos acidentes de trânsito e a realização de perícia

A legislação brasileira prevê que o condutor envolvido em um acidente e que seja o responsável pela causa do sinistro deverá reparar os danos provocados às vítimas, ainda que não tenha ocorrido dolo, mas que tenha havido negligência, imprudência ou imperícia. Entretanto, essa reparação não ocorre de forma consensual em todos os casos, instante em que a vítima recorre às instâncias judiciárias para o devido ressarcimento (MICHELMAN, 2018).

No âmbito jurídico, Almeida (2011) explica os efeitos possíveis:

O acidente de trânsito pode produzir efeitos jurídicos, tanto na esfera criminal como na civil. Enquanto na esfera civil o agente que cometeu um ilícito deve reparar o dano patrimonial, na esfera penal o agente deve sofrer a aplicação de uma pena, cominação legal, que pode ser a privação de liberdade, restrição de direitos ou uma pena pecuniária. Na primeira, esfera civil, busca-se o equilíbrio das relações privadas. Na esfera criminal, a pena corresponde à submissão pessoal e física do agente, para a restauração da normalidade social violada com o delito (ALMEIDA, 2011, p. 18-19).

Andrade (2015) cita que os pressupostos gerais que caracterizam a responsabilidade civil são a conduta humana, o dano ou prejuízo e o nexo de causalidade. Assim, se um motorista ultrapassa em local proibido e colide frontalmente com outro veículo na contramão direcional, a sua manobra ilícita de ultrapassagem (conduta humana) foi diretamente responsável (nexo causal) pela perda material (dano) da unidade automotora da vítima.

Se os danos não ficaram restritos ao patrimônio dos envolvidos, mas repercutiram em lesões ou morte haverá consequências também na esfera criminal. Ressalta-se que as esferas são independentes, de forma que as sanções penais não impedirão ações de reparação no âmbito cível.

Entretanto, para que se identifique a causa do acidente e seja comprovado o nexo causal dos fatos, faz-se necessário a produção de provas objetivas para elucidação da dinâmica da ocorrência. O Código de Processo Penal, regido por meio do Decreto-Lei nº 3689/41, esclarece que “quando a infração deixar vestígios, será indispensável o exame de corpo de delito, direto ou indireto, não podendo supri-lo a confissão do acusado” (BRASIL, 1941). Então, a Perícia Criminal Oficial será

acionada e realizará o levantamento do local para coletar vestígios e reconstruir o evento.

Em muitos casos, a Perícia Criminal Oficial não é acionada devido o local ter sido desfeito, as vítimas terem sido socorridas ou não ter ocorrido lesões ou óbitos. Nessas situações, a perícia é feita posteriormente de forma indireta, por perito criminal oficial ou por perito particular, dependendo da esfera em que a ação esteja tramitando (ALMEIDA, 2011).

## 2.2 Vestígios nos locais de sinistros veiculares

Seja o Perito Criminal Oficial ou o Perito Particular responsável pela produção da prova objetiva, o profissional deverá embasar o seu laudo a partir dos vestígios observados no local ou *a posteriori*, através de fotos e documentos. A união e correta interpretação desses vestígios serão capazes de reproduzir a dinâmica dos fatos.

Aragão (2016) descreve os principais elementos de interesse pericial encontrados em um local de acidente de trânsito:

Posições de Repouso dos Veículos: são as orientações finais de cada veículo e as distâncias destes entre si e os demais vestígios. Tal elemento permitirá reconstruir de forma inversa o acidente, partindo-se do momento pós-colisão a fim de restabelecer os instantes de colisão e pré-colisão.

Ponto de Impacto ou Sítio de Colisão: corresponde ao local onde os veículos impactaram com outras unidades veiculares ou contra estruturas rígidas. É um vestígio indicativo do instante de colisão e fundamental para indicar qual veículo estava na mão ou contramão direcional.

Marcas de Frenagem: quando um veículo é freado de forma intensa, o aquecimento gerado pelos pneus imprime esta marca pneumática no leito asfáltico. O seu comprimento terá relação proporcional à velocidade do automotor. Portanto, marcas de frenagem mais extensas indicarão uma maior velocidade do veículo, pois o mesmo necessitará de uma distância mais longa para imobilizar.

Sulcagens: resultado do choque violento entre as partes metálicas de um veículo e a superfície asfáltica ou de concreto, caracterizado pela retirada de camada superficial da pista (sulco).

Outras marcas pneumáticas: podem ser encontradas outras marcas na via produzidas pelo veículo que indicarão movimento de aceleração, arrasto, derrapagem e fricção.

Fragmentos e materiais depositados pelos veículos: as peças veiculares, líquidos combustíveis e cargas desprendidas pela colisão ficarão depositadas sobre a via e indicarão o percurso seguido pelo veículo após a colisão.

Estes são os principais vestígios levantados pelo Perito, sendo ainda importante a verificação dos demais componentes do local: o clima (seco ou chuvoso), se a via possui aclive ou declive, a visibilidade do local, as sinalizações vertical e horizontal, o tipo e condição do pavimento (asfalto, terra batida, grama, etc), entre outros (ALMEIDA, 2014).

Todos esses elementos contribuem na definição da causa do acidente e auxiliam no fornecimento de dados para que o *expert* possa calcular a velocidade dos veículos arrolados no acidente.

### 2.3 Tacógrafos

A vida e a integridade física são os maiores bens protegidos pelas legislações de trânsito. Visando estender a segurança para os usuários das vias de tráfego, o Código de Trânsito Brasileiro impôs um controle mais rígido sobre os veículos com grande capacidade de transporte de passageiros ou de carga ao exigir a presença de equipamento que registrasse a velocidade desenvolvida pelos mesmos:

Art. 105. São equipamentos obrigatórios dos veículos, entre outros a serem estabelecidos pelo CONTRAN:

[...]

II - para os veículos de transporte e de condução escolar, os de transporte de passageiros com mais de dez lugares e os de carga com peso bruto total superior a quatro mil, quinhentos e trinta e seis quilogramas, equipamento registrador instantâneo inalterável de velocidade e tempo (BRASIL, 1997).

O equipamento registrador instantâneo inalterável de velocidade e tempo, conhecido como tacógrafo, registra o deslocamento do veículo ao longo de determinado tempo, memorizando desta forma a velocidade que o veículo percorre. O aparelho consiste em um verdadeiro elemento fiscalizador do comportamento do motorista e o seu cumprimento dos limites de velocidade determinados pela malha viária, contribuindo para que as autoridades de trânsito tenham de forma prática e

rápida a obtenção dessa informação. Dada a sua importância, o CTB definiu como infração a não manutenção deste equipamento:

Art. 230. Conduzir o veículo:

[...]

XIV - com registrador instantâneo inalterável de velocidade e tempo viciado ou defeituoso, quando houver exigência desse aparelho;

[...]

Infração - grave;

Penalidade - multa;

Medida administrativa - retenção do veículo para regularização; (BRASIL, 1997).

Além de auxiliar o trabalho das autoridades fiscalizadoras do trânsito, o tacógrafo possui grande importância no trabalho pericial, pois constitui valioso dado na aferição da velocidade do veículo no momento da colisão e nos instantes que antecedem a esta. A fim de resguardar a obtenção desta prova pelo Perito Oficial, a legislação se preocupou em definir a competência para a retirada do disco-diagrama do equipamento contendo os dados de interesse:

Art. 279. Em caso de acidente com vítima, envolvendo veículo equipado com registrador instantâneo de velocidade e tempo, somente o perito oficial encarregado do levantamento pericial poderá retirar o disco ou unidade armazenadora do registro (BRASIL, 1997).

Dessa forma, é competência do Perito a retirada e a guarda do disco retirado do registrador. Pondera-se que será verificado pelo mesmo se a gravação dos dados não apresentam vícios ou falhas que indiquem manipulação do equipamento.

Ainda que não sejam identificados indícios de adulteração do aparelho, os dados registrados estão sujeitos a uma margem de erro tolerável, as quais são indicadas pela Resolução CONTRAN nº 92/99:

a) Para registro da distância percorrida, o erro máximo admissível é o maior dos dois valores abaixo positivo ou negativo:

- 4% da distância real, sendo esta, pelo menos igual a 1 Km;

- 40m da distância real, sendo esta, pelo menos igual a 1 Km.

b) Para registro da velocidade, o erro máximo admissível é o maior dos dois valores abaixo positivo e negativo:

- 6% da velocidade real;

- 6Km/h da velocidade real.

c) Para registro do tempo decorrido, o erro máximo admissível é o abaixo discriminado:

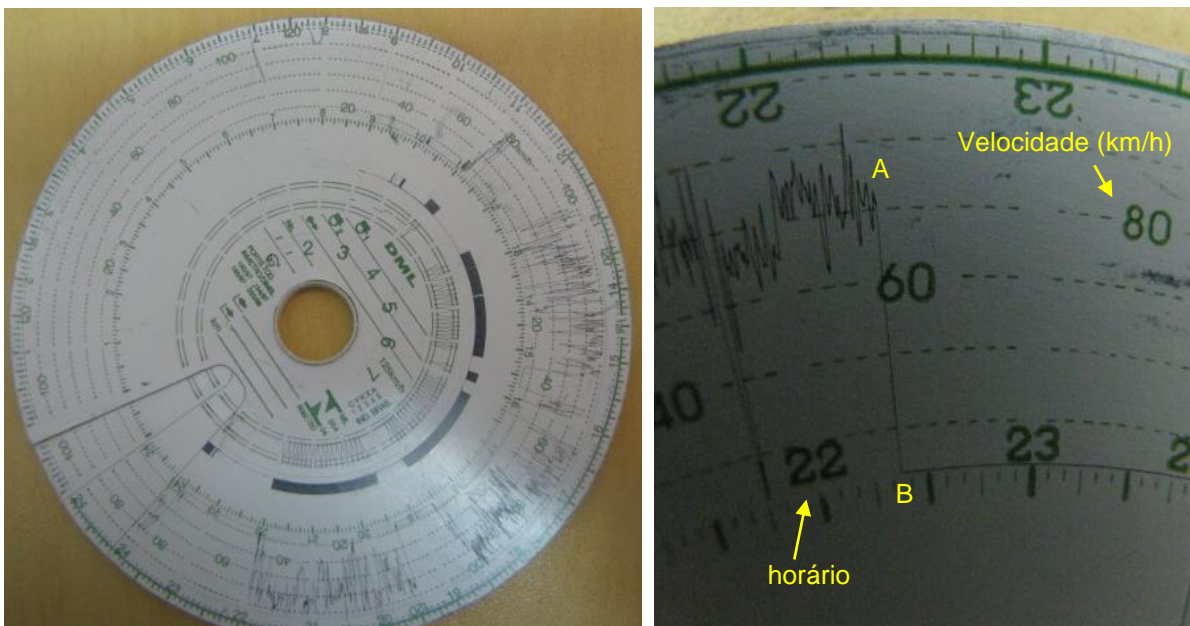
- 2 minutos a cada 24 horas, com o máximo de 10 minutos em 7 dias (BRASIL, 1999).



Na inclusão da velocidade no laudo pericial, o profissional deve considerar essa margem de erro, citando o intervalo de valores em que a velocidade do veículo sinistrado estaria presente.

As Figuras 1 e 2 apresentam a visão geral e aproximada de um disco-diagrama retirado de um veículo.

Figuras 1 (esq.) e 2 (dir.) – Visão geral e aproximada de disco-diagrama retirado do tacógrafo de um veículo

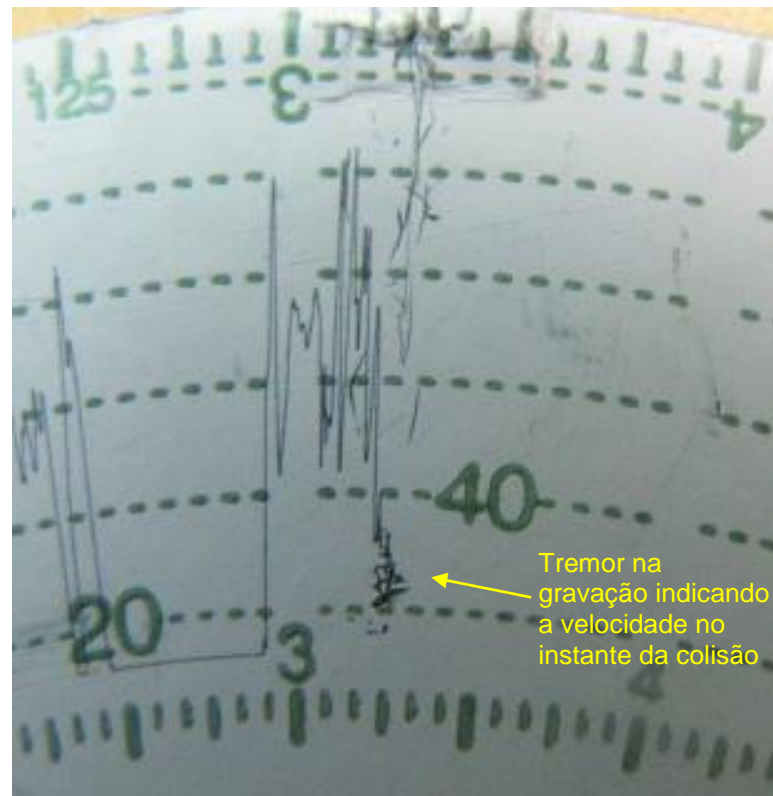


**Fonte:** arquivo pessoal do autor.

Na Figura 2 visualiza-se a movimentação da agulha indicando a velocidade do veículo durante determinado horário. No momento A, o veículo trafega um pouco acima da velocidade de 80km/h às 22h20min. O condutor efetuou a frenagem do veículo próximo às 22h25min até a sua total imobilização (velocidade = 0km/h) no ponto B, ficando sem transitar daí em diante.

Em outros casos, é possível identificar anormalidades na leitura do disco-diagrama causadas por eventos no trânsito. A Figura 3 ilustra um desses eventos: o disco-diagrama foi retirado de um veículo envolvido em uma colisão de trânsito, sendo identificado um tremor da gravação da agulha antes do fim do registro. A situação decorre do abalo sofrido pelo veículo que é transferido ao aparelho, tornando a gravação irregular. Dessa forma, o Perito consegue aferir com clareza a velocidade do veículo no instante da colisão.

Figura 3 – Disco-diagrama do tacógrafo de veículo envolvido em colisão



**Fonte:** arquivo pessoal do autor.

#### 2.4 Cálculos de velocidade

Conforme Aragão (2016), a determinação da velocidade dos veículos participantes de um acidente de trânsito deve ser feita utilizando os princípios fundamentais da Física e, apesar de alguns cálculos serem de fácil aplicabilidade, é preciso atenção na quantificação de cada variável envolvida.

Uma das metodologias mais tradicionais e de uso consagrado no meio pericial é o Princípio da Conservação da Energia, onde este consiste em analisar os veículos isoladamente e calcular as parcelas de energia dissipadas em cada ato do acidente de trânsito: frenagem, fricção, derrapagem e danos (GURGEL, 2015). A fórmula que abrange essas parcelas de energia é a seguinte:

Figura 4 – Fórmula aplicada no Princípio da Conservação da Energia

$$V_i = \sqrt{2\mu g d_f + V_d^2}$$

**Fonte:** Gurgel *et al.* (2015).

Onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito da via,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $d_f$  é o comprimento da marca de frenagem/fricção/derrapagem e  $V_d$  equivale à velocidade de danos para o veículo sinistrado. A velocidade de danos é obtida por meio de tabelas experimentais.

Outra técnica que ainda é pouco utilizada, mas que se mostra de grande valor pela amarração de todos os elementos presentes em um acidente é o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento. Este método avalia o acidente em três fases: o momento anterior à colisão, o instante da colisão e o instante posterior a esta. A reconstrução do acidente é feita de forma inversa, ou seja, partindo-se do repouso final dos veículos, a fim de se obter a velocidade antes ou no momento da colisão (ALMEIDA, 2011). A desvantagem dessa técnica é que a mesma não possui precisão para os casos em que há grande desproporção de massa dos veículos colidentes, como um embate entre um caminhão e um carro, por exemplo.

Considerando a colisão dos veículos 1 e 2, as respectivas velocidades  $V_1$  e  $V_2$  serão obtidas através das equações

Figura 5 – Fórmulas aplicadas no Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento

$$v_1 = \frac{u_1 \text{sen}(a_2 - b_1) + \frac{m_2}{m_1} u_2 \text{sen}(a_2 - b_2)}{\text{sen}(a_2 - a_1)}$$

$$v_2 = \frac{\frac{m_1}{m_2} u_1 \text{sen}(b_1 - a_1) + u_2 \text{sen}(b_2 - a_1)}{\text{sen}(a_2 - a_1)}$$

**Fonte:** Neto (2002).

Onde  $u_1$  e  $u_2$  são as velocidades após a colisão,  $a_1$  e  $a_2$  são os ângulos de entrada dos veículos antes da colisão,  $b_1$  e  $b_2$  são os ângulos de saída dos veículos após e  $m_1$  e  $m_2$  são as massas dos veículos.

$u_1$  e  $u_2$  são obtidos utilizando a tradicional fórmula do Princípio da Conservação da Energia (Figura 4).

### 3 METODOLOGIA

A Polícia Civil de Minas Gerais possui um sistema informatizado denominado PCNET, em que são armazenados todos os laudos periciais do estado.

Utilizando a ferramenta “Pesquisa Completa de Laudos” pesquisou-se a palavra-chave “tacógrafo” no período de 01/06/2016 a 30/05/2018 (espaço temporal de 2 anos) e filtrou-se o tipo de laudo por “Levantamento pericial em local de acidente de trânsito”. A figura 6 ilustra a tela de pesquisa:

Figura 6 – Tela de pesquisa do PCNET

**Fonte:** arquivo pessoal do autor.

Após a pesquisa, realizou-se o *download* dos laudos de trânsito que continham o termo “tacógrafo” e fez-se a leitura individualizada de cada arquivo para refinação da amostra. Foram utilizados os seguintes requisitos para selecionar os laudos da amostragem final:

- ✓ Tacógrafo com dados válidos: apenas laudos em que houvesse registros do disco-diagrama sem anormalidades, sendo excluídos os laudos em que o tacógrafo estivesse ausente, os discos-diagramas apresentassem preenchimento incompleto ou sinais de adulteração, o tacógrafo estivesse presente, porém destruído (ex: veículo incendiado) ou fosse não certificado.

- ✓ Vestígios suficientes para cálculo de velocidade: somente os casos que possuíam marcas de frenagem/fricção/derrapagem, que a trilha de vestígios era contínua (para que o mínimo possível de energia perdida não estivesse na fórmula), que havia a presença de croqui e de todas as medições dos vestígios.
- ✓ Descrição dos danos do veículo e estado dos pneus: relatórios periciais que constassem as avarias sofridas pela unidade veicular e as condições dos pneumáticos.
- ✓ Condições climáticas: apenas as ocorrências em que estivesse descrita o clima no momento dos fatos e a sua influência ou não para a produção do sinistro.
- ✓ Descrição do pavimento de tráfego e se apresentava alicive/declive: filtraram-se os laudos que contivesse a completa descrição da superfície da via e se a mesma era plana ou inclinada.

Com a seleção dos laudos que atendiam todos os requisitos acima, chegou-se à amostragem final. A partir desta, realizou-se o cálculo da velocidade a partir dos vestígios presentes em cada laudo por meio da fórmula do Princípio da Conservação de Energia. Em seguida, comparou-se a velocidade calculada pelos vestígios com a velocidade obtida pelo tacógrafo em cada laudo e realizou-se a análise estatística para discussão dos resultados.

A fórmula do Princípio da Conservação de Energia utilizada foi:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\mu_1 \cdot d_1 + \mu_2 \cdot d_2 + \mu_3 \cdot d_3 \dots) + V_d^2}$$

Sendo:

**g** = aceleração da gravidade

**μ** = coeficiente de atrito para determinado trecho da via

**d** = comprimento da marca de frenagem/fricção/derrapagem no trecho da via

**V<sub>d</sub>** = velocidade de danos para o veículo sinistrado

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No espaço temporal de 01/06/2016 a 30/05/2018, a Perícia Criminal de Minas Gerais produziu 6312 laudos de acidentes de trânsito, dos quais foram filtrados 648 que apresentavam o termo “tacógrafo” em algum momento do documento técnico. A amostragem final que atendia os requisitos que permitiam calcular a velocidade pelos vestígios e que possuíam a velocidade obtida do tacógrafo resultou em 61 laudos periciais para depuração estatística.

Após a realização do cálculo, obteve-se a Quadro 3:

Quadro 3 – Velocidades obtidas do tacógrafo e calculadas pelos vestígios dos 61 laudos periciais analisados

CASO	Velocidade obtida do tacógrafo (km/h)	Velocidade calculada pelos vestígios (km/h)	Velocidade permitida pela via do caso estudado	Condição da Pista	Estado dos pneus	Diferença $V_{\text{tacógrafo}} \times V_{\text{vestígios}}$ (%)
1	84	94,6	80	SECA	RUIM	-13
2	70	67,6	40	SECA	MÉDIO	3
3	95	86,4	80	SECA	BOM	9
4	80	78,1	80	SECA	BOM	3
5	60	52,8	80	SECA	BOM	12
6	50	46,0	80	SECA	BOM	8
7	60	57,9	80	SECA	MÉDIO	3
8	45	32,7	60	SECA	BONS	27
9	40	31,0	80	SECA	BONS	23
10	35	38,1	40	SECA	MÉDIO	-9
11	90	89,7	60	SECA	BONS	0
12	98	78,7	80	SECA	BONS	19
13	120	102,3	80	SECA	BONS	15
14	90	94,3	40	SECA	BONS	-4
15	100	92,3	60	SECA	MÉDIO	8
16	60	71,3	60	SECA	MÉDIO	-18
17	40	27,6	40	SECA	BONS	30
18	104	90,5	80	MOLHADA	BONS	13
19	42	43,9	80	SECA	BONS	-5
20	52	49,4	60	SECA	BONS	6
21	65	59,3	40	SECA	BONS	9
22	77	64,7	40	SECA	BONS	16
23	85	100,0	60	SECA	BONS	-18
24	43	41,2	40	SECA	BONS	5

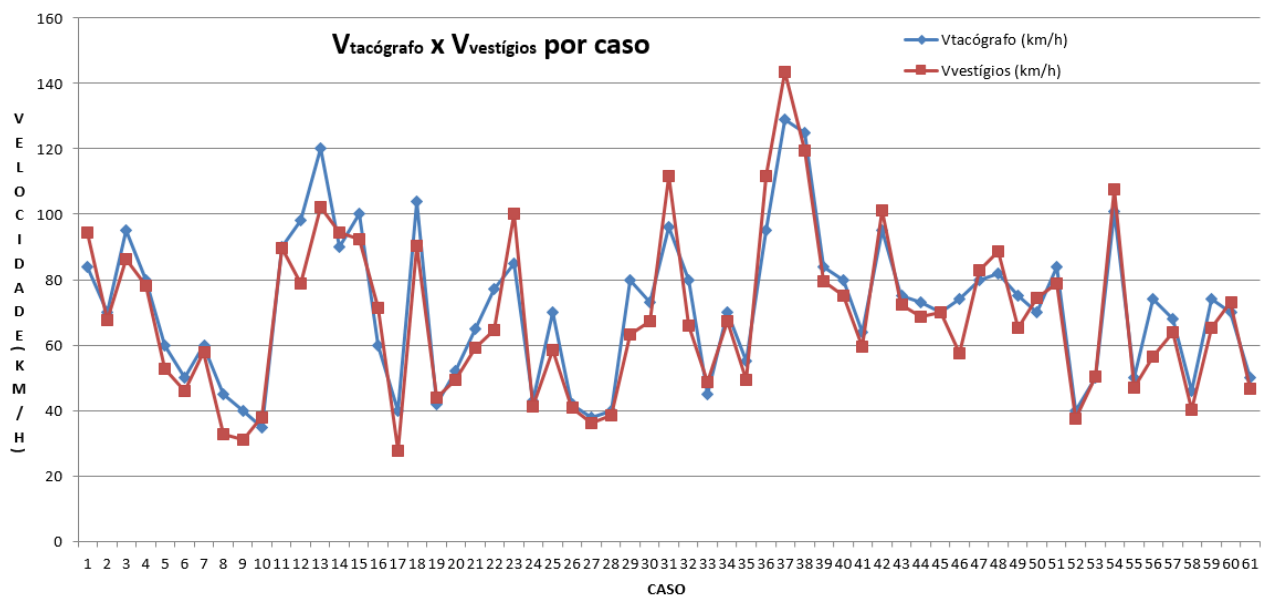
25	70	58,5	80	MOLHADA	BONS	17
26	42	40,8	40	SECA	BONS	2
27	38	36,2	30	SECA	BONS	5
28	40	38,7	40	SECA	MÉDIO	3
29	80	63,4	80	SECA	BONS	21
30	73	67,2	80	SECA	BONS	8
31	96	111,8	80	SECA	BONS	-17
32	80	66,1	60	SECA	BONS	18
33	45	48,8	40	SECA	BONS	-9
34	70	67,4	80	SECA	MÉDIO	4
35	55	49,3	40	SECA	BONS	11
36	95	111,7	40	SECA	MÉDIO	-18
37	129	143,5	80	SECA	BONS	-12
38	125	119,6	80	SECA	MÉDIO	4
39	84	79,4	80	MOLHADA	BONS	6
40	80	75,0	60	NÃO	BONS	6
41	64	59,7	90	SECA	BONS	6
42	95	101,2	80	SECA	BONS	-6
43	75	72,4	80	SECA	BONS	4
44	73	68,6	60	SECA	BONS	5
45	70	70,1	80	SECA	BONS	0
46	74	57,7	50	MOLHADA	MÉDIO	22
47	80	83,0	80	SECA	BONS	-4
48	82	88,8	80	SECA	MÉDIO	-9
49	75	65,2	80	SECA	MÉDIO	13
50	70	74,5	80	SECA	MÉDIO	-6
51	84	78,7	80	SECA	BONS	6
52	40	37,6	60	SECA	BONS	5
53	50	50,3	40	SECA	BONS	0
54	101	107,5	80	MOLHADA	BONS	-7
55	50	47,0	80	SECA	BONS	6
56	74	56,4	60	SECA	BONS	24
57	68	63,8	80	SECA	MÉDIO	6
58	46	40,2	60	SECA	BONS	13
59	74	65,2	80	SECA	BONS	12
60	70	73,1	80	SECA	MÉDIO	-4
61	50	46,6	60	SECA	MÉDIO	6

**Fonte:** elaborado pelo autor.

Portanto, em 29 dos 61 casos analisados, a velocidade calculada pelos vestígios ficou dentro da margem de erro tolerável de 6% da velocidade obtida pela leitura do disco-diagrama do tacógrafo e a margem de erro média da velocidade

calculada para a velocidade obtida pelo tacógrafo foi de 9,9%. No Gráfico 1 visualiza-se a comparação dos dados:

Gráfico 1 – Comparativo Velocidades obtidas do tacógrafo x Velocidades calculadas pelos vestígios dos 61 laudos periciais analisados



**Fonte:** elaborado pelo autor.

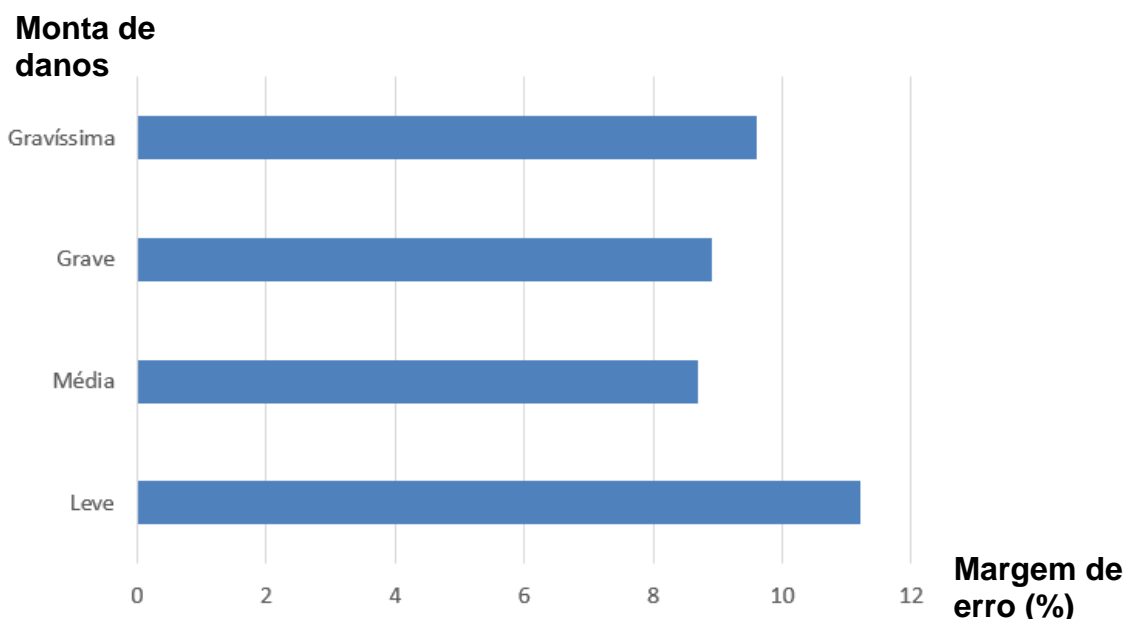
Apenas em 2 dos 61 casos (3,3%), a velocidade calculada ficou abaixo da velocidade permitida, enquanto a velocidade obtida do tacógrafo ficou acima. Entretanto, ressalta-se que a velocidade calculada pelos vestígios é definida tecnicamente como a velocidade mínima desenvolvida pelo veículo, pois há perdas de energia que não são transmitidas em marcas pneumáticas na via, sendo compreensível essa diferença.

Apesar da consideração anterior, em 10 ocorrências (16,7%) a velocidade determinada fisicamente ficou acima da margem de erro do tacógrafo. Possíveis razões para esta divergência incluem: erros de medição devido dificuldade na delimitação da extensão do vestígio, coeficiente de atrito utilizado incompatível e velocidade de danos divergente da aplicada. Não foram encontradas relações entre esses casos e determinados estados dos pneus, condições da pista e os valores dos coeficientes de atritos.

Observou-se a margem de erro entre as velocidades de acordo com a monta de danos sofrida pelo veículo. O Gráfico 2 ilustra a comparação:



Gráfico 2 – Comparativo Margem de erro entre as velocidades (%) x Monta de danos



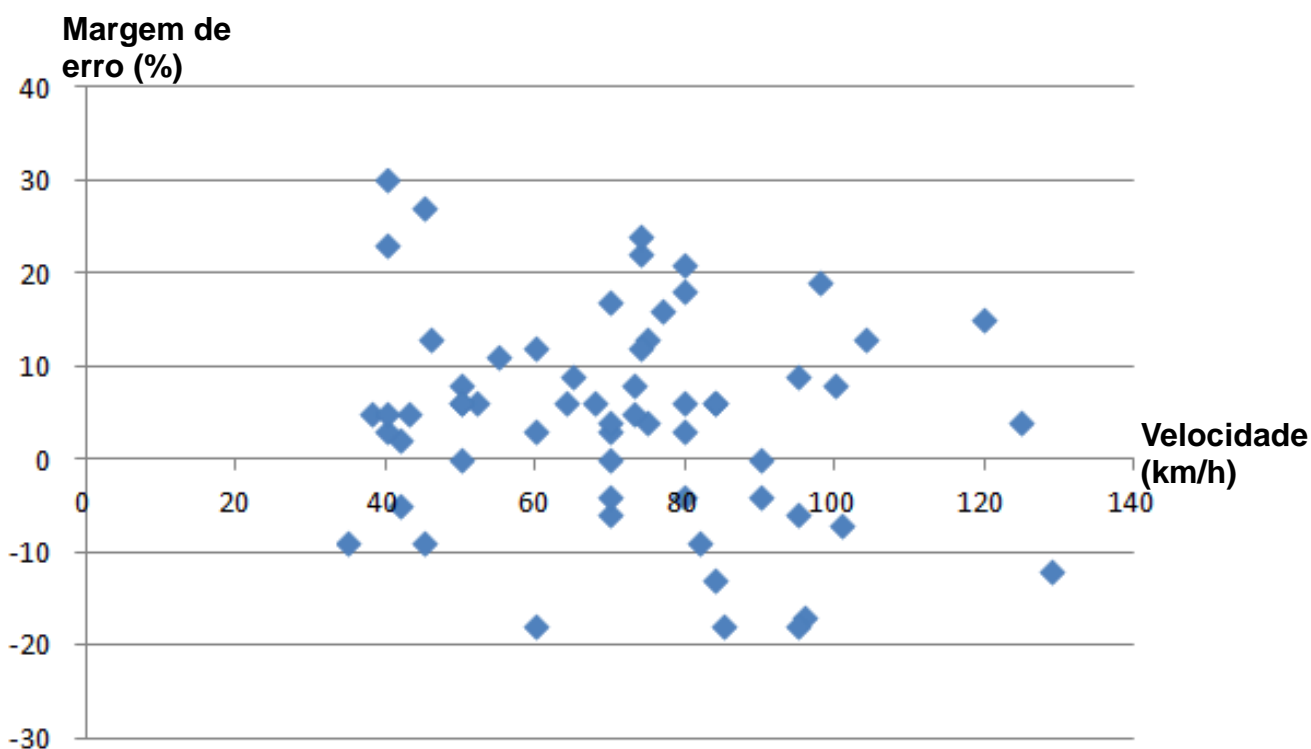
**Fonte:** elaborado pelo autor.

Como esperado, observou-se uma margem de erro média maior nos acidentes em que a monta dos danos foi leve. Tal situação se deve à perda de energia dissipada na imobilização do veículo que está em baixa velocidade que não é transformada em avarias. Dessa forma, a velocidade de danos tem maior precisão quando se trata de colisão com veículos em alta velocidade.

O mesmo efeito da situação acima foi identificada na comparação da margem de erro para coeficientes de atrito menor que 0,5 (12,5% de diferença média) e maior ou igual a 0,5 (9,3% de diferença média). Se o veículo trafega em uma via que há maior atrito, a tendência é que ao frear o automóvel tenha mais facilidade de imprimir a marca pneumática no leito da via, diferentemente de superfícies baixo contato, onde poderá ocorrer a imobilização do veículo em um espaço maior, porém não deixando marcas visíveis, justificando então cálculos mais precisos para maiores coeficientes de atrito.

Relacionou-se ainda os efeitos do valor absoluto da velocidade com a margem de erro média percentual encontrada entre as velocidades calculada e obtida para determinar se velocidades maiores ou menores dos veículos influenciam em cálculos físicos mais ou menos precisos. O Gráfico 3 exibe os resultados:

Gráfico 3 – Comparativo Margem de erro entre as velocidades (%) x Velocidade (km/h)



**Fonte:** elaborado pelo autor.

Na dispersão de dados analisada, os laudos periciais que apresentavam veículos desenvolvendo altas velocidades implicaram em menores diferenças entre as velocidades calculadas por método físico e as velocidades lidas no disco-diagrama do tacógrafo. Corroborando com as observações anteriores, ao reduzir bruscamente a velocidade de um veículo, se este estiver trafegando a uma alta velocidade tenderá a produzir marcas pneumáticas de modo mais contundente e que será lido com precisão pelo perito, o qual repassará a informação para a fórmula física apropriada. Na situação oposta, um veículo transitando em baixa velocidade pode imobilizar o veículo sem produzir marcas pneumáticas, deixando assim de ser mensurada essa perda de energia.

Por fim, afirma-se que o cálculo da velocidade por meio de fórmulas físicas realizada por profissionais diversos do perito de local estará sujeita a erros naturais de variáveis que não foram observadas *in loco*, dependendo exclusivamente das informações transmitidas através do laudo pelo perito responsável do acidente de trânsito em questão.

## 5 CONCLUSÃO

A pesquisa efetuada apontou uma diferença média de 9,9% da velocidade calculada por meio do Princípio da Conservação de Energia para a velocidade obtida a partir do tacógrafo. Estudo comparativo de diversos métodos de cálculo de velocidade realizado por Tales et al. (2016) concluiu por resultados semelhantes, onde ressaltou a precisão dos cálculos feitos pelos princípios da Física, relevados os erros das medições.

A fórmula física apresentou maior precisão para maiores velocidades e onde a monta de danos é maior, permitindo concluir que há melhores chances das energias serem dissipadas nos vestígios e consideradas em sua integralidade pelos cálculos.

A robustez dos dados obtidos em um local de acidente veicular pelo Perito foram essenciais para a maior precisão do cálculo e redução da margem de erro, provenientes: das características do pavimento viário, das medidas dos vestígios impressos no leito asfáltico, gramíneo ou arenoso, da condição dos pneus, das características de cada veículo, da monta de danos e da correta relação dos coeficientes de atrito e velocidade dos danos das tabelas da literatura com as informações do local.

A utilização de uma margem de erro torna-se essencial ao abarcar eventuais inconsistências naturais do uso da fórmula física, como leves diferenças do coeficiente de atrito da tabela de literatura, a qual é inflexível, com o pavimento real que está sujeito a alterações de várias naturezas (ex: desgaste, sujeira, umidade). Dessa forma, o Perito Criminal estará realizando o parecer de forma justa e de modo a garantir a validade e precisão da prova pericial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. L. **Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito**. Campinas: Millennium Editora, 2011.

ALMEIDA, L. L. **Acidente de Trânsito – Novos Métodos de Cálculo de Velocidade**. Campinas: Millennium Editora, 2014.

ANDRADE, F.S. **Responsabilidade: acidente de trânsito**. Disponível em: <<https://fabianompt.jusbrasil.com.br/artigos/167596250/responsabilidade-acidente-de-transito>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

ARAGÃO, R. F. **Acidentes de Trânsito – Análise da Prova Pericial**. Campinas: Millennium Editora, 2016.

BRASIL. **Lei nº 3.689**, de 3 de outubro de 1941. Código de Processo Penal. Brasília, 1941. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del3689compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del3689compilado.htm)>. Acesso em: 16 mai. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.503**, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm)>. Acesso em: 15 mai. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 92**, de 4 de maio de 1999. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos do registrador instantâneo e inalterável de velocidade e tempo. Disponível em: <[https://cronotacografo.rbmlq.gov.br/files/resolucao\\_092\\_99.pdf](https://cronotacografo.rbmlq.gov.br/files/resolucao_092_99.pdf)>. Acesso em: 17 mai. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Estatísticas de Acidentes**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 13 mai. 2019.

GURGEL, W.P.; GOMES, L.M.; FERREIRA, F.C.L.; GESTER, R.M. Cálculo de velocidades em acidentes de trânsito: Um software para investigação em física forense. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, p.1-10, dez. 2015.

MICHELMAN, C. **A responsabilidade decorrente do acidente de trânsito**. Disponível em: <<https://cavallaroemichelman.jusbrasil.com.br/artigos/546345517/a-responsabilidade-decorrente-do-acidente-de-transito>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

NETO, O.N. Soluções Eletrônicas para Cálculos de Velocidade em Acidentes de Trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p.124-128, jun. 2002.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Folha informativa - Acidentes de trânsito**. Disponível em: <[https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5147:acidentes-de-transito-folha-informativa&Itemid=779](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5147:acidentes-de-transito-folha-informativa&Itemid=779)>. Acesso em: 14 mai. 2019.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). **Balanco PRF – 2017**. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/sala-de-imprensa/releases-1/balanco-prf-2017>>. Acesso em: 14 mai. 2019.

VIEIRA, T.G.; FRAGA, G.H.C.; MARINHO, P.E.A. Análise de imagens na determinação de velocidades de entrada em perícias de trânsito. **Revista Criminalística e Medicina Legal**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p.12-16, dez. 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Global Status Report on Road Safety 2018**. Disponível em: <[https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2018/en/](https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/)>. Acesso em: 13 mai. 2019.