



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

JOÃO PEDRO SOARES DA SILVA

FUNDAMENTOS DA FÍSICA NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

JOÃO PEDRO SOARES DA SILVA

FUNDAMENTOS DA FÍSICA NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Artigo referente à disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), como registro de conclusão de curso, requisito à obtenção do título de Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Jean Paulo Spinelly da Silva.

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586f Silva, Joao Pedro Soares da.
Fundamentos da física na investigação de acidentes de trânsito [manuscrito] / Joao Pedro Soares da Silva. - 2022.
21 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Jean Paulo Spinelly da Silva ,
Coordenação do Curso de Física - CCT."

1. Acidentes de Trânsito. 2. Perícia. 3. Mecânica
Newtoniana. 4. Equações físicas. I. Título

21. ed. CDD 363.125 1


JOÃO PEDRO SOARES DA SILVA

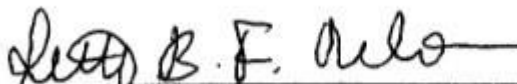
FUNDAMENTOS DA FÍSICA NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Artigo referente à disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), como registro de conclusão de curso, requisito à obtenção do título de Licenciatura Plena em Física pela Universidade Estadual da Paraíba.

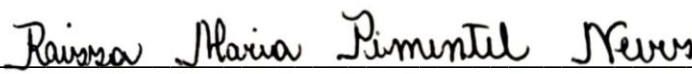
Aprovada em: 30/11/2022.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Jean Paulo Spinelly da Silva (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof^a Dra. Ruth Brito de Figueiredo Melo
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof^a.Dra. Raíssa Maria Pimentel Neves
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico: Aos meus pais, Ronaldo e Iracy, a meus irmãos Jefferson e Mariana e aos meus avós paternos e maternos, que me deram total apoio durante toda a caminhada, onde me incentivaram a prosseguir e concluir o curso, mesmo perante as dificuldades enfrentadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que é Soberano em tudo que faz, que me deu força, perseverança e ainda mais fé para superar todos os meus desafios, sabendo que tudo que fiz foi para a Glória Dele.

A toda minha família, que ficou ao meu lado durante toda essa jornada.

A todos os meus amigos de curso, principalmente Patrícia, que esteve comigo desde o começo do curso, Patrick, Gabriela, José Rodrigues, Thiago Barbosa, Thiago Oliveira, António Carlos, Joilson, Ester, Ana Patrícia, Lizandra e Francieli, que me ajudaram nessa conquista, desde a explicação de uma questão de exercício até nos momentos finais e estressantes antes das provas. Gostaria de citar cada um deles, mas graças a Deus pelo grande número de amizades conquistadas no curso, não caberiam todos aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jean Paulo Spinelly da Silva, e a todos os demais professores do curso, que contribuíram grandemente na minha vida acadêmica.

SUMÁRIO

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 | ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS NO ESTADO DA PARAÍBA | 9 |
| 3 | O PERITO E AS CAUSAS DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO..... | 11 |
| 4 | LEVANTAMENTO DO LOCAL: PERÍCIA..... | 13 |
| 4.1 | Levantamento De Dados | 13 |
| 4.2 | Fases Do Levantamento Do Local De Acidente De Trânsito..... | 14 |
| 5 | ANÁLISE DE ACIDENTES..... | 14 |
| 5.1 | Cálculo De Velocidade Por Meio Das Marcas De Frenagem | 15 |
| 5.2 | Colisão E Arremesso Oblíquo De Motociclista | 16 |
| 5.3 | Cálculo De Velocidade Em Acidentes Do Tipo Colisão | 17 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 19 |
| | REFERÊNCIAS | 20 |

FUNDAMENTOS DA FÍSICA NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

João Pedro Soares da Silva¹

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar o que acontece por trás de toda uma investigação de um acidente de trânsito. Ao contrário do que muitos pensam uma perícia de acidente de trânsito pode ser bem mais complexa do que se imagina. Falamos dos conceitos e métodos que servem como base para toda a investigação. Dentre esses conceitos usados na investigação está a aplicação da física na perícia dos acidentes, mais precisamente a mecânica newtoniana. Onde as teorias e equações da física serão usadas nas mais variadas situações, dá mais simples a mais complexa, com o propósito de auxiliar o perito, que é o profissional responsável por aplicar esses conhecimentos, a entender como ocorreu a dinâmica do acidente de trânsito, bem como colaborar na definição da causa determinante que ocasionou o acidente. Para isso, foi necessária uma pesquisa bibliográfica em publicações de alguns autores, especialistas no assunto, que trouxeram de forma abrangente a aplicação da física nas investigações dos acidentes de trânsito. Depois desse estudo foi visível a importância e indispensabilidade do uso das teorias e equações físicas na conclusão de uma investigação de acidente.

Palavras-Chave: Acidentes de Trânsito. Perícia. Mecânica Newtoniana.

¹ Graduando em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual da Paraíba

FUNDAMENTALS OF PHYSICS IN TRAFFIC ACCIDENT RESEARCH

João Pedro Soares da Silva¹

ABSTRACT

This work aims to show what happens behind an entire investigation of a traffic accident. Contrary to what many think a traffic accident skill can be much more complex than one might think. We talk about the concepts and methods that serve as the basis for all research. Among these concepts used in the investigation is the application of physics in the expertise of accidents, more precisely newtonian mechanics. Where the theories and equations of physics will be used in the most varied situations, from the simplest to the most complex, with the purpose of assisting the expert, who is the professional responsible for applying this knowledge, to understand how the dynamics of the traffic accident occurred, as well as to collaborate in the definition of the determining cause that caused the accident. For this, it was necessary a bibliographical research in publications of some authors, specialists in the subject, who brought in a comprehensive way the application of physics in the investigations of traffic accidents. After this study, the importance and indispensability of the use of theories and physical equations in the conclusion of an accident investigation was visible.

KEYWORDS: Traffic accidents. Expertise. Newtonian mechanics.

¹Undergraduate Degree in Physics from the State University of Paraíba

1. INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito se tornaram comuns atualmente e os altos índices têm preocupado a população de todo o planeta. Por essa razão, no ano de 2021 a OMS lançou uma campanha chamada “Década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030”, cujo objetivo é prevenir cerca de 50% das mortes e lesões decorrentes dos acidentes de trânsito até o ano de 2030. Além disso, em conjunto com ações desse tipo, medidas de orientação para a prevenção de acidentes de trânsito são frequentes e amplamente divulgadas, sejam pelas instituições públicas, polícias de trânsito e até nas mídias, como TV e internet. Mas parte da população desconsidera essas orientações, elevando assim o número de acidentes.

Quando ocorre um acidente, um perito em acidentes é acionado e entra em cena para realizar uma investigação técnico-científica, que identifica a causa e a dinâmica da ocorrência. Além dos conhecimentos técnicos primordiais para esclarecer as causas, o perito deve contar com a capacidade de avaliar tanto o fator humano, quanto ambiental, que afeta cada um dos elementos que contribuíram para o ocorrido. Também, é necessário que tenha conhecimento profundo do Código de Trânsito, que permite que o perito possa elucidar objetivamente, baseando nos dados técnicos e vestígios explanado pela autoridade (policial, perito criminal ou judicial), a sequência de fatores que resultou no acidente veicular.

Para quem vê de fora não imagina a complexidade que alguns acidentes podem trazer e o conhecimento que o perito deve ter para concluir uma perícia.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo mostrar brevemente como ocorre o processo de perícia e a sua realização no local de acidente de trânsito, quais as metodologias usadas para as definições das causas dos acidentes e principalmente como conceitos da física, por meio da mecânica clássica, contribuem para a definição da dinâmica do acidente, bem como para a definição das causas determinantes nos acidentes de trânsito.

2. ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS NO ESTADO DA PARAÍBA

Segundo a OMS (2021), “em média, 1,35 milhão de vidas são perdidas, anualmente, nas estradas de todo planeta, configurando a maior causa de morte de pessoas de 5 a 29 anos no mundo”.

Sobre a definição de acidente podemos afirmar:

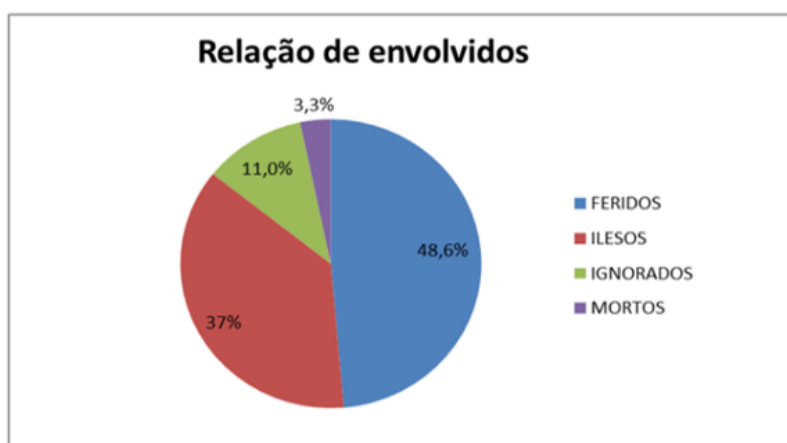
Acidente é qualquer acontecimento inesperado, casual, fortuito, por ação ou omissão, imperícia, imprudência, negligência, caso fortuito ou força maior, e foge ao curso normal, do qual advêm danos à pessoa e/ou ao patrimônio. Acontecimento involuntário, inevitável e imprevisível, ou inevitável, mas previsível, ou seja, imprevisível, mas evitável, do qual participa, pelo menos um veículo em movimento, pedestres e obstáculos fixos, isoladamente ou em conjunto, ocorrido em via terrestre, e resultando danos ao patrimônio, lesões físicas ou morte. (ARAGÃO, 2009).

Anualmente a PRF divulga o seu anuário, onde traz informações dos acidentes de trânsito ocorridos nas rodovias federais do Brasil. Conforme dados coletados e divulgados no anuário 2020, ocorreram 63.548 acidentes de trânsito nas rodovias federais de todo país. Mesmo sendo um número relativamente alto, vem em grande queda desde 2013, onde foram registrados quase 200.000 acidentes, o que acarretou 71.480 feridos e 5.291 mortes (PRF, 2020).

O Estado da Paraíba, que segundo os dados levantados pelo Ministério de Infraestrutura (2020), contava com uma frota de 1.409.592 veículos, contabilizou 1.401 acidentes de trânsito, que resultaram em 1.528 feridos e 103 mortes (PRF, 2020).

O gráfico a seguir mostra, em percentual, a relação dos envolvidos quanto ao número de feridos, ilesos, ignorados e mortos no Estado.

Gráfico 1 – Relação de envolvidos em acidentes de trânsito nas estradas da Paraíba



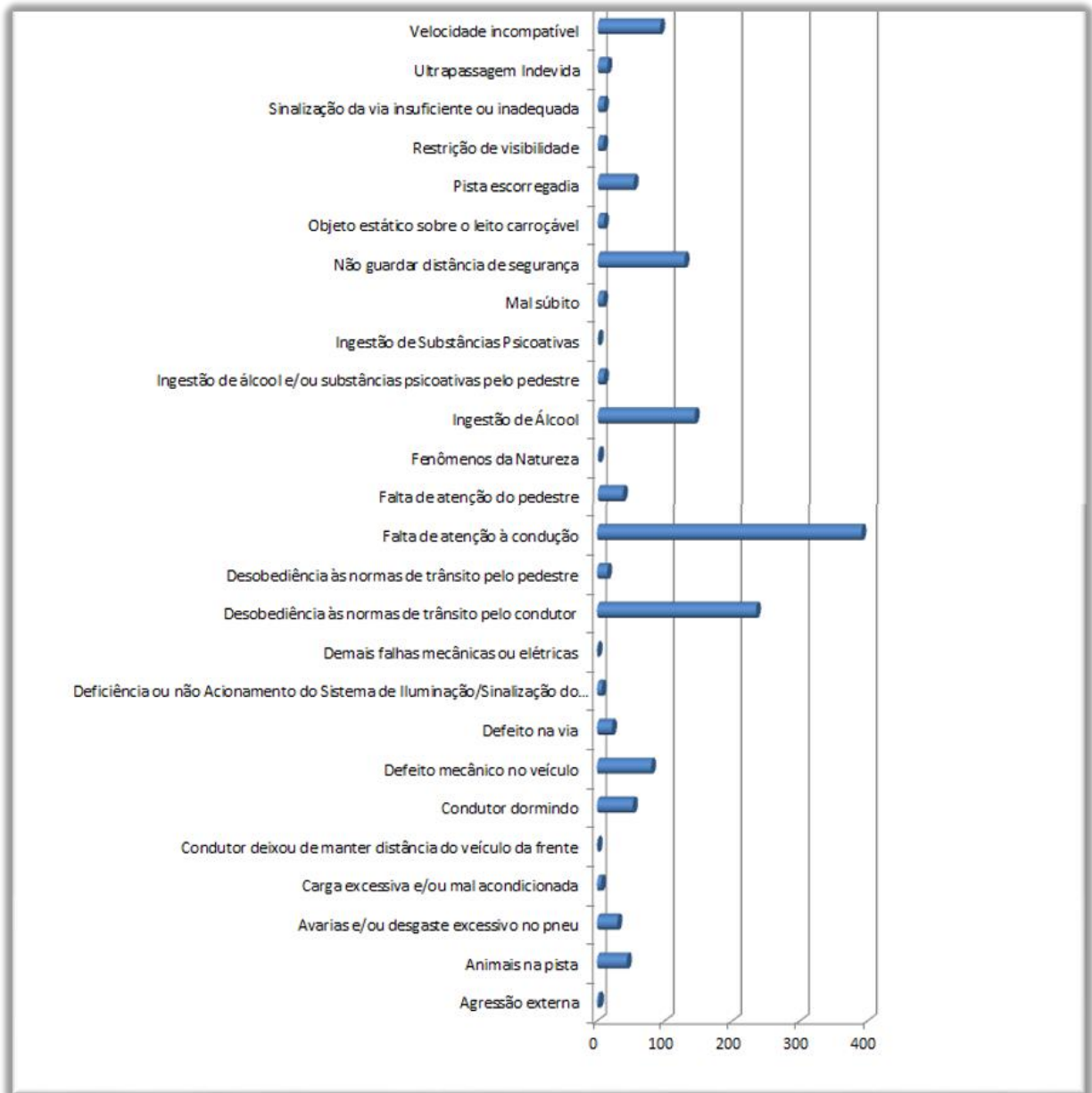
Fonte: PRF (2020)

O gráfico 2 retrata as maiores causas de acidentes de trânsito no Estado, no mesmo ano. Nele, podemos observar que as maiores causas de acidentes de trânsito estão relacionadas, respectivamente: a Falta de atenção à condução (27,91%),

desobediência às normas de trânsito (16,77%), ingestão de álcool (10,21%), não guardar distância de segurança (9,14%), velocidade incompatível (6,57%), entre outras causas, que mesmo com menores números de ocorrências, não deixam de ser grandes fatores que influenciam os grandes números de acidentes registrados.

Campina Grande, a segunda cidade mais populosa do Estado, também em 2020, registrou 158 acidentes de trânsito nas duas BR's que cortam o município: a BR 104 e BR 230. Somando 154 feridos e 9 mortos (PRF, 2020).

Gráfico 2 – Números das maiores causas de acidentes no estado da Paraíba



Fonte: PRF (2020)

3. O PERITO E AS CAUSAS DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO

Na ocorrência de um acidente de trânsito os agentes públicos são acionados para colocarem em prática suas devidas competências. Inicialmente, a prioridade é socorrer os feridos. Em seguida, deve-se restaurar a ordem pública do local do acidente, trabalho esse feito pela Guarda Municipal, agentes de trânsito, Polícia Militar ou Polícia Rodoviária Federal; cada órgão em seus respectivos âmbitos de atuação. Se a ocorrência trazer repercussão criminal, entra em cena a polícia judiciária, Polícia Civil, para dar início a investigação, na apuração de infrações penais e de sua autoria (art. 4º CPP, 1941).

O perito tem papel fundamental em uma investigação de acidente de trânsito, ele faz uma análise gerada por seu olhar técnico com conhecimentos fundamentais, para que assim descubra as causas e responsáveis pelos acidentes, e, por consequência, concluir o inquérito policial, que é o resultado de toda investigação.

A perícia em acidentes de trânsito tem como objetivo estabelecer uma dinâmica e definir a causa determinante do acidente ocorrido conforme as análises feitas pelo perito, ou seja, definir condições, como, o porquê e o que causou o acidente. Conforme observamos no gráfico 2, um acidente de trânsito pode ser causado por diversos fatores, trazendo assim muitas variáveis ao qual o perito terá que analisar.

As causas determinantes quando tratamos de um acidente de trânsito, podem ser divididas em causas imediatas e causas mediatas, e a primeira coisa que o perito deve fazer é definir em qual dessas causas o acidente está relacionado.

As causas imediatas se baseiam em vestígios encontrados no local do acidente de trânsito, e estão associadas a fatores relacionados ao homem, máquina, meio e fatores adversos. Já as causas mediatas são do tipo que não apresentam vestígios para sua comprovação, pois está associada à situação física e psíquica do condutor. Fatores como esses são difíceis de serem constatados. Sobre isso, Santos (2008) esclarece:

As causas mediatas ou circunstanciais são de ordem subjetiva, portanto, via de regra, tornasse impossível materializá-las. Os elementos de distração, situação física e psíquica dos condutores (fadiga, sono) e atos por parte de passageiros são bons exemplos para explicar que dificilmente o perito disporá de condições para constatá-las. Podem elas igualmente originarem-se de outras situações adversas existentes no Trânsito, provocadas por outros veículos, pedestre, animais ou mesmo por fenômeno da natureza. (SANTOS, 2008, p.53).

As causas imediatas auxiliam o perito na determinação da dinâmica do acidente. Sobre a definição dessas causas:

Para definir a causa determinante de um acidente de trânsito, deve ser possível se desconsiderar ou desprezar todas as hipóteses relacionadas com outros fatores - o homem, o meio e os fatores adversos. O simples fato de um veículo não se encontrar em condições de trafegabilidade não deve ser considerado fator direto para imputar ao seu condutor a responsabilidade da causa determinante do acidente de trânsito. Há de se considerar, dentro da cadeia de acontecimentos, todos os fatores decorrentes de um acidente de trânsito até que se chegue à causa determinante, sem sombra de dúvida. (ALMEIDA, 2015, p.317).

Com foco nas causas imediatas, veremos como são definidos cada um dos fatores já citados.

- **O meio**

Essa causa determinante é relacionada com problemas nas vias, como mau estado de conservação, falta de acostamento e falta de sinalização. Esses fatores podem levar o condutor a situações não previstas e assim consequentemente gerando um acidente.

Segundos os dados já citados (PRF 2020), dos 1.401 acidentes de trânsito registrados no Estado da Paraíba, 22 foram causados por defeitos nas vias e 9 causados por sinalização da via insuficiente ou inadequada.

Quando fica claro que o acidente foi causado exclusivamente por causa desses problemas viários, o perito atribui como causa o meio.

- **A máquina**

O fator máquina se remete a falhas mecânicas imprevisíveis do veículo. Mas não podemos confundir falhas mecânicas com a falta de manutenção e de verificação das condições do veículo, sendo de responsabilidade do condutor, conforme é expresso no art. 27 do CTB: “Antes de colocar o veículo em circulação nas vias públicas, o condutor deverá verificar a existência e as boas condições de funcionamento dos equipamentos de uso obrigatório, bem como assegurar-se da existência de combustível suficiente para chegar ao local de destino (CTB,1997).”

Quanto a isso, destaca Almeida (2015): “A falha mecânica imprevisível é aquela que, por assim dizer, não era esperada, devido ao fato de o veículo envolvido no acidente de trânsito encontrar-se em ordem quanto aos aspectos de manutenção e de condições físicas”.

- **O ser humano**

Esse fator está associado ao comportamento das pessoas no trânsito, tanto o condutor quanto o pedestre. Mas, em relação ao comportamento do condutor, os números são mais frequentes nos acidentes de trânsito.

Para uma performance mais segura no trânsito, o condutor deve observar os fatores relacionados, os quais devem ser evitados ao dirigir, principalmente no que diz respeito à bebida alcoólica ou a drogas, pois além de reduzirem a concentração, afetam a coordenação motora, mudam o comportamento e diminuem o desempenho, o que limita a percepção de situações de perigo, reduzindo a capacidade de ação e reação. (BALBINOT; ZARO, TIMM,2011, p.22).

Dentre as causas mais comuns relacionadas estão: velocidade incompatível, não guardar distância de segurança, ingestão de álcool, falta de atenção à condução, desobediência às normas de trânsito pelo condutor, condutor dormindo. Na Paraíba, no ano de 2020, essas causas citadas somaram 1.042, dos 1.401 acidentes de trânsito, ou seja, 74,4% desses acidentes foram causadas por fatores humanos.

- **Fatores adversos**

Está ligada a situações que foram impossíveis de prever. Um acidente causado por animal silvestre que entrou na frente de um veículo em uma rodovia é um exemplo de uma situação cuja causa determinante é definida como de fator adverso.

4. LEVANTAMENTO DO LOCAL: PERÍCIA

Tratando de perícia em acidente de trânsito, temos a perícia direta e a indireta. A perícia indireta é realizada em locais que foram desfeitos, ou seja, os veículos envolvidos não estão na posição na qual ficaram depois do acidente. Já a perícia direta é o inverso, como explica Junior (2019): “Um levantamento detalhado do local logo após sua ocorrência permite uma perícia direta, ou seja, uma perícia onde o local foi preservado e isolado a contento e os veículos não foram removidos da posição de repouso original”.

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

O processo de levantamento de dados e a coleta de vestígios quando se chega a um local que ocorreu um acidente de trânsito é de grande importância para todo o processo investigatório. Como destaca Gonçalves (2017) “Através da investigação e estudo de cada um destes fatores pelos vestígios deixados no contato entre corpos, o perito inicialmente reconstrói o sinistro, para depois transformá-lo em um modelo matemático baseado em leis da física”.

Para a realização da perícia, o perito de acidente de trânsito deve ter um conhecimento abrangente, não baseado apenas do CTB, mas também principalmente conhecimentos das leis da física e das metodologias que serão utilizadas durante todo o processo de investigação.

A escolha dos procedimentos técnicos e da metodologia adotados para o registro dos elementos presentes no local do evento devem estar relacionados diretamente com os fundamentos científicos que serão utilizados para o processamento posterior dos dados levantados. (JUNIOR, [201-?], p.1).

Ele define os diferentes tipos de acidentes de trânsito (saída de pista, invasão de faixa, atropelamento), os tipos de vias e seus limites de velocidade, classificação dos veículos e a definição dos vestígios do acidente de trânsito (marcas de frenagem, arrasto, derrapagem, carga).

Vale salientar que é de grande importância que o local do acidente de trânsito seja preservado e isolado (por meio de fitas zebreadas e cones), e o Delegado de Polícia é responsável por isso, como afirma Almeida (2015,p.93) “O responsável direto pela preservação do local é a autoridade policial - Delegado de Polícia -, que deverá estar presente para que sejam feitas as devidas correções quanto ao isolamento”.

Quanto à preservação, todos os fragmentos dos veículos envolvidos devem ser deixados nos mesmos locais onde estavam. Quando houver vítimas com vida os mesmos devem ser socorridos, e ao perito deve ser informado da posição onde a

vítima se encontrava. E caso os veículos envolvidos nos acidentes estejam prejudicando o tráfego será autorizada a remoção dos veículos.

A partir daí será averiguado a necessidade da perícia no local. A mesma deverá ser chamada nos casos que tenham mortos e pessoas com lesões graves. Nos demais casos é necessário apenas o relatório final e boletim de ocorrências.

4.2. FASES DO LEVANTAMENTO DO LOCAL DE ACIDENTE DE TRÂNSITO

São três as fases do levantamento de local de acidente.

A primeira é a fase onde é feito o levantamento inicial dos dados do acidente, como posição dos veículos e características das vias. O perito deverá fazer o croqui (desenho do local de acidente) e adicionar as seguintes informações: posições dos veículos e cadáveres; informações da pista (nome, largura e sentido); posição de placas de sinalização: posição e tamanho dos vestígios; descrever dois referenciais (perpendiculares entre si), para as demais medidas; localizar Sítio de Colisão (SC). Sobre o SC, Junior (2019, p.25) destaca:

Importante destacar que não há condições de demarcar na pista um ponto preciso de colisão. Tal observação se deve ao fato de que o sítio de colisão compreende uma área na pista onde houve o embate entre os veículos. O prolongamento de marcas de frenagem, derrapagem e de fricção são elementos que auxiliam a demarcação do sítio de colisão.

Já a segunda fase considera as informações sobre as condições dos veículos (condições de pneus, sistema de iluminação, freios e etc.), sedes de impacto (local de avaria devido à colisão) e identificação do veículo (modelo, número de placa, etc.).

Por sua vez, a terceira é fase do levantamento de dados dos condutores dos veículos, onde o perito, ainda no local, deverá ouvir as versões dos envolvidos sobre o acidente. Essa fase é de grande importância, pois em uma situação de um acidente mais complexo ou caso haja um pequeno número de vestígios, trará ao perito uma melhor compreensão de como o fato ocorreu.

Outro ponto que vale destacar é o levantamento fotográfico, que mesmo não sendo um elemento crucial na perícia é um importante item da documentação de um local que ocorreu um acidente de trânsito.

5. ANÁLISE DE ACIDENTES

Os conceitos físicos podem ser aplicados de inúmeras formas e nos mais variados casos de acidentes de trânsito, do mais simples ao mais complexo. Conforme destacam Kleer, Thielo e Santos (1997, p.160): “Uma investigação de um acidente de trânsito, conduzida por profissionais, aplica extensivamente os princípios da Mecânica, com o objetivo de inferir sobre as causas do acidente”. Especificamente, para obter informações quantitativas sobre um determinado acidente, o perito precisa aplicar a segunda lei de Newton.

Mas nesta seção trataremos três situações: cálculo de velocidade por meio das marcas de frenagens, arremesso de motociclista e cálculo de velocidade em acidentes do tipo colisão.

5.1. CÁLCULO DE VELOCIDADE POR MEIO DAS MARCAS DE FRENAGEM

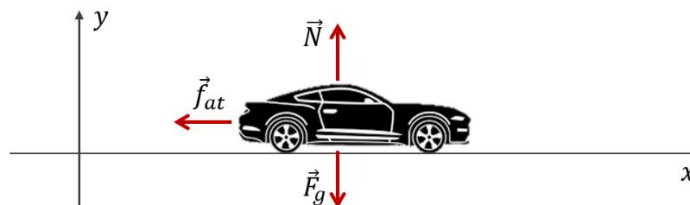
A determinação da velocidade de um veículo, em uma perícia de acidente de trânsito, é de grande importância para toda a investigação. Conforme argumenta Junior (s.d., p.1): “A velocidade de um veículo é um fator preponderante nas análises e discussões sobre a causa de acidentes de trânsito. O questionamento do valor da velocidade é um fato constante na aplicação da Justiça”.

Em alguns acidentes de trânsito são comuns os casos onde o ponteiro do velocímetro do veículo fica travado em uma determinada velocidade, e muitos tendem a levar essa velocidade travada em consideração para determinar a velocidade do veículo envolvido. Mas, segundos especialistas, essa informação não deve ser considerada, como explica Junior(s.d.)

“Em busca de opiniões de especialistas internacionais e de referências bibliográficas a respeito do assunto, pode-se constatar que a convicção formada pelos peritos e estudiosos é, na grande maioria, de que o registro permanente do ponteiro do velocímetro, após uma colisão envolvendo veículos automotores, deve ser desconsiderada, por não haver comprovação científica da proporcionalidade existente entre a velocidade real e a registrada pelo velocímetro do veículo”.

Nesse tópico trataremos da determinação da velocidade por meio das marcas de frenagem/fricção de um veículo. Para tanto, assumiremos que o referido veículo se move no sentido positivo do eixo x e possui massa m . Além disso, vamos admitir que, durante a frenagem, sobre ele atua uma força de atrito constante, cujo módulo é $f_{at} = \mu N$, sendo μ o coeficiente de atrito cinético entre os pneus e a superfície da via, e N o módulo da força normal. [Ver figura 1].

Figura 1 – Representação das forças sobre um veículo durante a frenagem.



Fonte: própria

Levando isso em conta e aplicando a segunda lei de Newton

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad (1)$$

segue que:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_g + \vec{N} + \vec{f}_{at} \Rightarrow m \frac{dv}{dt} \hat{x} = -\mu N \hat{x} + (N - mg) \hat{y} \quad (2)$$

e, portanto,

$$m \frac{dv}{dt} = -\mu N \quad \text{e} \quad mg - N = 0. \quad (3)$$

Logo, resolvendo este sistema de equações e considerando que a frenagem se inicia na origem, em $t = 0$ e que, nesse instante, o módulo da velocidade é v_0 , obtemos:

$$v = v_0 - \mu g t \quad \text{e} \quad x = v_0 t - \frac{1}{2} \mu g t^2, \quad (4)$$

ou ainda

$$v^2 = v_0^2 - 2\mu gx. \quad (5)$$

Finalmente, entendendo que, até parar, o veículo percorreu a chamada *distância de frenagem* d_f , encontramos:

$$v_0 = \sqrt{2\mu g d_f}. \quad (6)$$

Uma vez que esta equação não depende da massa, podemos afirmar que, para a determinação da velocidade de um veículo que se move no plano horizontal, no instante em que os freios são acionados, o perito necessita apenas conhecer o coeficiente de atrito e a distância de frenagem.

5.2. COLISÃO E ARREMESSO OBLÍQUO DE MOTOCICLISTA

Sabemos que os acidentes de trânsito ocorrem de diversas formas, de uma forma mais simplista, mas também, e geralmente mais comum, na forma de movimentos mais complexos.

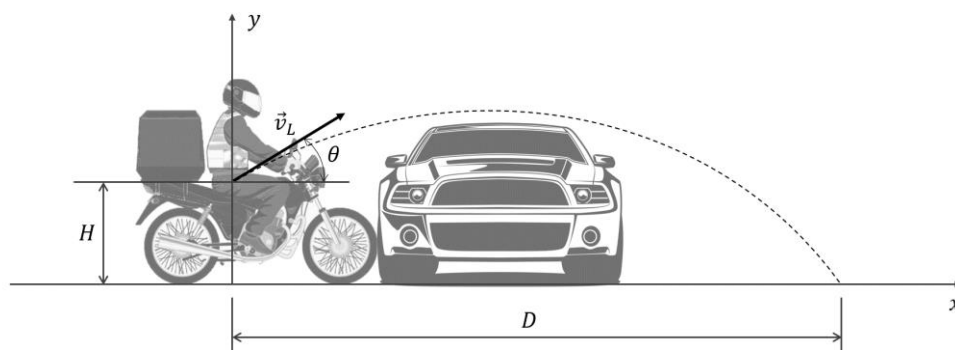
Trazendo para a linguagem da Física, os acidentes envolvendo movimentos retilíneos (simples) são bem raros, o mais comum é a observação de movimentos complexos, como, por exemplo, o de um motoqueiro arremessado após uma colisão, o qual acontece num plano.

Nesta seção, trataremos exatamente dessa situação.

De acordo com a Mecânica, o centro de massa de um sistema de partículas é o ponto que se move como se toda a massa estivesse concentrada nesse ponto e todas as forças externas estivessem aplicadas nesse ponto (HALLIDAY e RESNICK, 2009). Sendo assim, para compreendermos o movimento do motoqueiro, devemos analisar como o seu centro de massa se move.

Após a colisão, o motoqueiro gira em torno do eixo que passa pelo seu centro de massa, o qual se localiza aproximadamente no quadril, sendo arremessado obliquamente. Como consequência, depois da colisão, o seu centro de massa se moverá como uma partícula que é lançada de uma altura H (altura do quadril até o solo), com uma velocidade \vec{v}_L formando um ângulo θ com a horizontal [Ver figura 2].

Figura 2 – Representação do lançamento oblíquo após a colisão



Fonte: própria

Desprezando o efeito da resistência do ar, ao longo do movimento, a única força que atua sobre o centro de massa do condutor é a gravitacional. Neste caso, considerando que a massa do motoqueiro é m , a segunda lei toma a forma

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_g \Rightarrow m \left(\frac{dv_x}{dt} \hat{x} + \frac{dv_y}{dt} \hat{y} \right) = -mg\hat{y}, \quad (7)$$

o que nos leva às seguintes equações diferenciais:

$$\frac{dv_x}{dt} = 0 \quad \text{e} \quad \frac{dv_y}{dt} = -g. \quad (8)$$

Resolvendo essas equações e usando o fato que, no instante do lançamento, $t = 0$, $x = 0$, $y = H$, $v_x = v_L \cos\theta$ e $v_y = v_L \sin\theta$, encontramos:

$$x = v_L \cos\theta t \quad \text{e} \quad y = H + v_L \sin\theta t - \frac{1}{2} g t^2. \quad (9)$$

Como consequência, isolando o tempo na primeira e substituindo na segunda, obteremos a chamada equação da trajetória, a qual é dada por:

$$y = H + tg\theta x + \frac{g}{2(v_L \cos\theta)^2} x^2. \quad (10)$$

Levando em conta que, ao tocar o solo, o centro de massa terá percorrido uma distância horizontal D e possuirá uma altura nula em relação ao solo, a equação acima nos fornecerá a expressão o módulo da velocidade de lançamento em termos de H , D e θ , isto é:

$$v_L = \frac{D}{\cos\theta} \sqrt{\frac{g}{2(H + Dtg\theta)}}. \quad (11)$$

Em algumas situações, antes de colidir, o condutor da moto aciona os freios. Neste caso, um aspecto que pode ser investigado é a velocidade da moto antes da frenagem. Seguindo o mesmo raciocínio da seção anterior, podemos mostrar que o módulo dessa velocidade é dado por:

$$v_0 = \sqrt{v_L^2 \cos^2\theta + 2\mu g d_F} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{D^2 g}{2(H + Dtg\theta)} + 2\mu g d_F}, \quad (12)$$

em que μ é o coeficiente de atrito e d_F é a distância de frenagem.

Vale ressaltar que, segundo especialistas, o ângulo de lançamento do motociclista, nesse tipo de colisão é de 15° . Então, conforme os resultados obtidos, para determinar a velocidade de lançamento, o perito só necessita conhecer a distância D e a altura H . Já para estabelecer a velocidade antes da frenagem, além desses dados, o profissional da perícia precisa saber o valor do coeficiente de atrito.

5.3. CÁLCULO DE VELOCIDADE EM ACIDENTES DO TIPO COLISÃO

Para a determinação da velocidade de veículos envolvidos em acidentes do tipo colisão, que envolve interceptações, colisão frontal e colisão traseira, devemos aplicar o *Princípio da Conservação do Momento Linear* nos instantes imediatamente antes e depois do acidente. A justificativa para o uso desse princípio é que, segundo a Mecânica Clássica, se a resultante das forças externas sobre um sistema de partículas for nula, o momento linear total será constante.

Nesta seção, trataremos a situação em que dois carros de massas m_1 e m_2 , que se movem em vias perpendiculares e possuem velocidades \vec{v}_1 e \vec{v}_2 , colidem e seguem acoplados com uma velocidade \vec{V} , imediatamente após o acidente, percorrendo uma distância D_F até pararem, ao longo de uma linha reta que forma um ângulo θ com uma das vias [Ver figura 3].

Afim de simplificar esse estudo, consideraremos os carros como sendo duas partículas de massas m_1 e m_2 que se movem ao longo dos eixos x e y ,

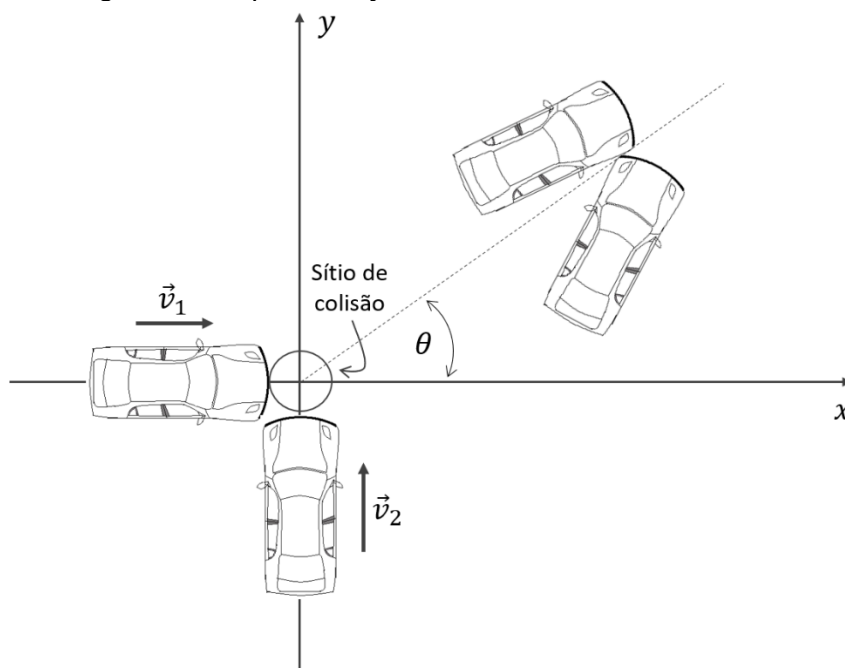
respectivamente, e sofrem uma colisão completamente inelástica na origem do sistema de coordenadas, formando uma partícula de massa $M = m_1 + m_2$ que é espalhada numa direção que forma um ângulo θ com o eixo x . Neste caso, assumindo que, durante a colisão, a resultante das forças externas é nula, temos que:

$$m_1 v_1 \hat{x} + m_2 v_2 \hat{y} = M \vec{V} \Rightarrow \vec{V} = \frac{1}{M} (m_1 v_1 \hat{x} + m_2 v_2 \hat{y}), \quad (13)$$

em que v_1 e v_2 são, respectivamente, os módulos das velocidades de m_1 e m_2 , imediatamente antes da colisão, e \vec{V} é a velocidade de M logo após o acidente. Dessa equação, segue que:

$$V = \frac{1}{M} \sqrt{m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2^2} \quad \text{e} \quad \text{tg } \theta = \frac{m_2 v_2}{m_1 v_1}. \quad (14)$$

Figura 3 – Representação da colisão entre dois veículos



Fonte: própria

Após a colisão, os dois carros (partícula M) se movem juntos sob a ação de uma força de atrito cujo módulo é $f_{at} = \mu N$. Logo, usando o raciocínio adotado na seção, chegamos à

$$V = \sqrt{2\mu g D_F}, \quad (15)$$

onde D_F a distância de frenagem.

Assim, das equações (14) e (15), concluímos que os carros colidiram com velocidades cujos módulos são

$$v_1 = \sqrt{2\mu g D_F} \cos \theta \frac{M}{m_1} \quad (16)$$

e

$$v_2 = \sqrt{2\mu g D_F} \text{sen} \theta \frac{M}{m_2}. \quad (17)$$

Outro ponto a se observar é que, em geral, os dois veículos realizam um processo de frenagem, antes da colisão (diminuindo a velocidade real que os veículos estavam). Obviamente, essa redução ocorre devido ao atrito que existe entre os pneus dos carros e a via, o qual, mais uma vez, é representado por uma força cujo módulo

$f_{at} = \mu N$. Por conta disso, conforme vimos na seção 5.1, os módulos das velocidades dos carros antes das frenagens são

$$v_{01} = \sqrt{2\mu g \left(D_F \cos^2 \theta \frac{M^2}{m_1^2} + d_{f1} \right)} \quad (18)$$

e

$$v_{02} = \sqrt{2\mu g \left(D_F \sin^2 \theta \frac{M^2}{m_2^2} + d_{f2} \right)}. \quad (19)$$

Conforme os resultados apresentados nas equações (16) e (17), medindo o ângulo da colisão, θ , e a distância D_F , e tendo conhecimento dos valores de μ , m_1 e m_2 , o perito conseguirá determinar as velocidades dos carros imediatamente antes da colisão. Por outro lado, segundo (18) e (19), se quiser estabelecer as velocidades antes da frenagem, o profissional da perícia precisa conhecer, além dos valores mencionados acima, as distâncias de frenagens d_{f1} e d_{f2} .

Poderíamos prosseguir nos cálculos para determinar a velocidade de dano por meio da energia anterior e posterior à colisão, mas ficaremos até aqui no estudo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tratou dos fundamentos da física na investigação dos acidentes de trânsito, ou seja, mostrar a importância do estudo da física para a compreensão da dinâmica de um acidente de trânsito, bem como sua importância em todo o processo investigatório de um acidente até a conclusão da investigação. O que foi atendido por meio da análise de três situações: cálculo de velocidade, por meio das marcas de frenagem, colisão e arremesso oblíquo de motociclista, e cálculo de velocidade em colisões.

O tema é de bastante relevância para o meio acadêmico por se tratar de situações bastantes comuns para a população, mesmo que de maneira indireta, e fazer essa junção de conhecimento traz benefícios para a própria ciência ao despertar esse tipo de conhecimento na sociedade.

Mesmo o tema “acidente de trânsito” sendo bastante relevante, foi encontrada dificuldades para achar materiais relacionados, principalmente livros, que só eram disponibilizados de forma impressa. O número limitado de páginas também impediu que fossem trabalhadas outras situações físicas diferentes, restringindo o trabalho apenas às três situações acima citadas.

O fato do trabalho focar em uma abordagem física um pouco mais complexa e não ter centrado em um tratamento para a área de ensino, nada impede o mesmo de ser trabalhado no Ensino Médio. Recomendo para quem quiser se dedicar ao tema com uma proposta mais centrada na sala de aula, que se utilizem de materiais que tratem desses cálculos de maneira mais simples, os quais são mais fáceis de encontrar.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, Ranvier Feitosa. **Acidentes de trânsito - a análise da prova pericial**. Campinas: Millenium Editora, 2009.

ALMEIDA, Lino Leite de. **Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito**. 2^o ed. Campinas: Millennium, 2015.

BALBINOT, A.B.; ZARO, M.A.; TIMM, M.I. **Funções psicológicas e cognitivas presentes no ato de dirigir e sua importância para os motoristas no trânsito**. *Ciências & Cognição*, v.16, p.13-29, 2011.

Código de Processo Penal – CPP - DECRETO-LEI Nº 3.689, DE 3 DE OUTUBRO DE 1941.

Código de Trânsito Brasileiro - CTB - LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997.

GONÇALVES, M.A. **A Perícia de Acidentes de Trânsito**. Perito de trânsito. Disponível em: < <http://www.peritodetransito.eng.br/blog/ver/1/a-pericia-de-acidentes-de-transito>>. Acesso em: 29 jun. 2022.

G1 RONDÔNIA. Polícia indícia motorista do SIM que avançou preferencial e matou motociclista em Porto Velho. Disponível em: < <https://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2019/11/29/policia-indicia-motorista-do-sim-que-avancou-preferencial-e-matou-motociclista-em-porto-velho.ghtml>>. Acesso em: 02 jul. 2022.

JUNIOR, C.M.C. **Perícia em colisão frontal entre veículos automotores**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 20., 2019, Salvador. Anais eletrônicos [...]. Salvador, 2014. p.1-39. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2020/02/AO-04-Per%C3%ADcia-em-colis%C3%A3o-frontal-entre-ve%C3%ADculos-automotores.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2022.

JUNIOR, W.T. **Metodologias para cálculo de velocidades em acidentes de trânsito com motocicletas**. Instituto de Física; Universidade Federal do Rio Grande do Sul. [201-?].

JUNIOR, W.T. **O registro permanente do ponteiro do velocímetro de veículos automotores, após um evento de colisão, utilizado como elemento para a perícia em acidentes de trânsito**. Instituto Geral de Perícias - SJS-RS. [201-?].

KLEER, A.A.; THIELO, M.R.; SANTOS, A.C.K. **A física utilizada na investigação de acidentes de trânsito**. *Cad.Cat.Ens.Fis.*, v.14,n2, p.160-169, ago.1997.

Ministério da Infraestrutura. **Frota de veículos-2020**. Governo do Brasil. Disponível em: < <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2020>>. Acesso em: 01 jul. 2022.

ONU. **Acidentes de trânsito são a maior causa de morte de pessoas de 5 a 29 anos. Nações Unidas.** Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1771092#:~:text=Este%2021%20de%20novembro%20%C3%A9,a%2029%20anos%20no%20mundo.>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

PRF. **Anuário2020.** Governo do Brasil. Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/anuario-2020.html>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

SANTOS, Marcos Henrique. **Apostila Perícia em locais de acidente de tráfico** – curso de formação perito criminal 2008.