



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA: RAMO EDUCACIONAL

Trabalho de Licenciatura

**Aplicação da Física na Investigação de
Acidentes de Trânsito Rodoviário**

Candidato: Bito da Silva Manuel Sixpence

Maputo, Dezembro de 2012



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA: RAMO EDUCACIONAL

Trabalho de Licenciatura

Aplicação da Física na Investigação de Acidentes de Trânsito Rodoviário

Candidato: Bito da Silva Manuel Sixpence

Supervisor: Prof. Dr. Adriano Rafael Sacate

Co- Supervisora: Msc. Dinelsa António Machaieie

Maputo, Dezembro de 2012

Declaração de Honra

Declaro por minha honra que este trabalho é da minha autoria e que nunca foi publicado em nenhum momento para obtenção de um grau académico. Os resultados decorrem da análise da informação obtida ao longo da pesquisa e as fontes usadas estão devidamente mencionadas.

O candidato

Bitto da Silva Manuel Sixpence

Bitto da Silva Manuel Sixpence

Dedicatória

À Deus, criador de todas as coisas, o qual é a razão das minhas conquistas, ele me concedeu sabedoria, paciência e acima de tudo forças para permanecer firme nos meus ideais. À minha esposa por me inspirar serenidade e paz, enquanto me rodeiam guerras e turbulências e além de tudo, é por ela que me faz sentir lutar e alcançar dias melhores. E à memória dos meus pais que me ensinaram a gostar de aprender mostrando-me o caminho para a escola e que Deus os tenha lá onde que estiverem.

Agradecimentos

- À *Rita*, minha esposa, *Shelton*, *Sheila* e *Stélio* meus queridos e adorados filhos, a *Sandra* a mãe de *Stélio* e meu irmão *Paulo*, todos eles pela colaboração mas sobretudo pelo amor e carinho oferecidos em todos os momentos o que proporcionou para o meu sucesso, inclusive pelas orações, as quais eu sei, não foram poucas.
- Ao supervisor e a co-supervisora, pela disponibilidade, interesse e dedicação que sempre demonstraram ao longo do desenvolvimento deste trabalho, desde a concepção do projecto até à redacção da monografia.
- A todos os colegas de serviço em especial General *José Weng San* e Adjunto de Superintendente da Policia *Gonçalves Matsombe*, a qual contribuíram significativamente para não deixar que o meu horário de trabalho prejudicasse o meu curso.
- Aos peritos de acidentes de Trânsito afecto na 5ª Esquadra da PRM da Cidade de Maputo, os quais de bom gato colaboraram comigo de diversas maneiras para a execução deste trabalho.
- Ao Dr. Lino Leite de Almeida, Brasileiro e autor do *Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito*, por ter me enviado seu livro a custo zero para concretizar os seus objectivos, no esclarecimento de dúvidas e estar disponível em cooperar nesta área em qualquer momento.
- A todo corpo docente e corpo técnico administrativo em especial do Departamento de Física, pela contribuição para a minha formação, orientando sobre a relevância de sermos um educador, para que possamos ajudar na formação de cidadãos responsáveis.
- A todos os colegas do curso que me ajudaram a adquirir e ampliar os meus conhecimentos, com experiência de vida apoio e materiais de estudos.
- Agradeço a Deus por ter me protegido e por guiar-me sempre no caminho correcto me ajudando a superar todos os obstáculos que apareceram durante esta trajetória.
- Não posso ser injusto com várias outras pessoas que de outras maneiras também contribuíram comigo, são inúmeras por isso não cito nomes, mas deixo esta pequena parte registada em agradecimento.... ***De coração, Obrigado a todos.***

Lista de Abreviaturas

KFC- Kentury Fryed Chicken

n^o - Número

PRM – Policia da República de Moçambique

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

Cm – Cento de Massa

S.I. – Sistema Internacional

Cte – Constante

SC – Sítio da Colisão

Lista de Figuras

Figura 1- Força resultante que actua numa viatura em movimento.....	6
Figura 2: Trabalho realizado por uma força ao deslocar uma viatura numa distância.....	8
Figura 3. Diagrama de forças em uma viatura percorrendo um plano horizontal.....	10
Figura 4: Trecho de travagem em um único pavimento.....	14
Figura 5: Trechos intermitentes de travagem em um único pavimento	15
Figura 6: Influência da declividade na velocidade.....	16
Figura 7: Influência da aclividade na velocidade	17
Figura 8: Representação dos dois vectores P_1 e P_2	20
Figura 9: Método gráfico da soma vectorial pela Fila	21
Figura 10: Reconstrução da colisão de duas viaturas	23
Figura 11. Acelerações tangencial e normal no movimento curvilíneo.....	28
Figura 12. Medição do Raio da Curva.....	28
Figura 13. Veículo que percorre uma trajectória curva e plana.....	29
Figura 14. Diagrama de forças em um veículo que percorre curva e plana	29
Figura 15. Diagrama de forças que actuum num veículo que percorre uma curva contendo super elevação com atrito	31
Figura 16: Representação gráfica das forças que actuum num veículo que percorre uma curva contendo super elevação	31
Figura 17: Ponto de Percepção Possível (PPP) e Ponto de não Escapada (PNE).....	35
Figura 18: Fluxograma de Colisão Traseira	38
Figura 19. Colisão traseira entre duas viaturas que terminam separadas.....	41
Figura 20: Representação da soma vectorial da quantidade de movimento.....	43
Figura 21: Representação da projecção vectorial de quantidade de movimento.....	43
Figura 22: Esquema Resumo da Causa determinante do Acidente de Trânsito.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores aproximados da diferença entre os tipos de Coeficiente de atrito.....	12
Tabela 2: Valores Aproximados de Coeficiente de atrito	13
Tabela 3: Balanço de Energia para Obtenção da Energia Perdida e o Valor da Velocidade de Danos.....	25
Tabela 4: Velocidade de danos segundo a Intensidade das Avarias	26
Tabela 5: Velocidade de danos segundo o Tipo de avaria	26
Tabela 6: Dados do caso em estudo	42
Tabela 7: Cálculo da velocidade final dos veículos V_1 e V_2 no trecho após a colisão.....	42
Tabela 8: Cálculo da quantidade de movimento final dos veículos V_1 e V_2	42
Tabela 9: Cálculo da velocidade Mínima de V_1 e velocidade Máxima de V_2	44
Tabela 10: Cálculo da velocidade máxima do veículo colidente e velocidade mínima do veículo colidido.....	45
Tabela 11: Cálculo da velocidade no instante da colisão de cada veículo.....	46
Tabela 12: Cálculo da velocidade total de cada veiculo quando do inicio da colisão.....	46
Tabela 13: Cálculo da velocidade de danos de cada veículo.....	47
Tabela 14: Resumo final da análise da velocidade.....	48

Índice

Declaração de Honra.....	i
Dedicatória.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Lista de Abreviaturas.....	iv
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	vi
Índice.....	vii
Resumo.....	ix

Capítulo 1 – Introdução

1.1. Introdução.....	1
1.2. Contextualização do trabalho.....	2
1.3. Problema de investigação.....	2
1.4. Justificativa.....	3
1.5. Objectivos.....	3
1.5.1. Objectivo geral.....	3
1.5.2. Objectivos específicos.....	3
1.6. Perguntas de pesquisa.....	4
1.7. Delimitação da pesquisa e características da área de estudo.....	4

Capítulo 2 - Revisão da Literatura

2.1. Princípios de física dos acidentes de trânsito.....	5
2.1.1. Leis da mecânica.....	5
2.1.2. Conservação de energia mecânica.....	8
2.1.2.1. Energia cinética.....	8
2.1.2.2. Energia potencial.....	9
2.1.3. Atrito.....	9
2.1.3.1. Coeficiente de atrito.....	10
2.2. Dinâmica dos acidentes de trânsito.....	13
2.2.1. Acidentes de trânsito rodoviário num plano horizontal e trajectórias rectilíneas.....	13
2.2.1.1. Velocidade do veículo a partir das marcas de travagem.....	14
2.2.2. Acidente em declive e aclive com trajectória rectilíneas.....	16
2.3. Colisão entre dois veículos que terminam separados um do outro.....	18
2.3.1. Princípio da Conservação de Energia em Veículo Isolado.....	18
2.3.2. Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.....	19
2.3.2.1. Método da Soma Vectorial Pela Fila.....	20

2.3.2.2. O Método Gráfico de Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.....	22
2.4. Velocidade de danos – Automóveis.....	25
2.5. Acidentes em trajectória curvilíneas.....	27
2.5.1. Velocidade limite nas curvas planas.....	29
2.5.2. Velocidade limite nas curvas com super elevação.....	30
2.6. Cálculo da velocidade pré – impacto, aplicando a Teoria do Impacto Coaxial: Método de Duff.....	32
2.7. A causa determinante nos acidentes de trânsito.....	33
2.7.1. Factores humanos.....	34
2.7.1.1. Percepção e reacção.....	34
2.7.1.2. Comportamento humano.....	34
2.7.2. Ponto de percepção possível associado ao condutor do veículo.....	35
2.7.2.1. Ponto de percepção possível.....	35
2.7.2.2. Ponto de não escapada – Espaço para imobilizar o veículo.....	36
2.7.3. Fluxograma – Colisão Traseira.....	38

Capítulo 3 – Metodologia

3.1. Descrição da metodologia.....	39
3.2. Amostra.....	40

Capítulo 4 – Análise e discussão Resultados da Pesquisa

4.1. Descrição da investigação (Estudo de um caso).....	41
4.2. Análise, discussão e interpretação dos dados.....	41
4.3. Análise da causa determinante da colisão traseira entre os dois veículos.....	49

Capítulo 5 – Conclusões e recomendações

5.1. Conclusões.....	51
5.2. Recomendações.....	52

Referências Bibliográficas.....	53
--	-----------

Anexos.....	54
--------------------	-----------

Resumo

O presente trabalho de Licenciatura em Física - Ramo Educacional tem como objectivo analisar algumas aplicações da física na investigação de acidentes de trânsito rodoviário. Para isso foi realizada uma pesquisa bibliográfica que aborda conceitos básicos da mecânica clássica bem como a causa determinante de um acidente de trânsito rodoviário. A estratégia usada foi o estudo de um caso de acidente de trânsito rodoviário ocorrido na cidade de Maputo, com o objectivo de analisar algumas aplicações de conhecimentos físicos na perícia de acidentes de trânsito rodoviário, através de tratamento físico-matemático e análises. Os resultados obtidos mostram que sem o conhecimento físico-matemático dificilmente as causas de um acidente de trânsito podem ser esclarecidas com justeza. Isto é, a investigação de um acidente de trânsito, passa por três fases: *perícia criminal; física e o acidente de trânsito e a causa determinante nos acidentes de trânsito*, onde a segunda fase é fundamental ou elo de ligação em relação as restantes fases, pôs é demonstrado o tratamento físico-matemáticos dos dados recolhidos no local de acidente de trânsito, facilitando assim na reconstrução, na análise e na prevenção do acidente de trânsito.

CAPITULO 1 – Introdução

Neste capítulo apresentam-se os objectivos do trabalho de licenciatura, análise do contexto, perguntas de pesquisa e delimitação do trabalho.

1.1.Introdução

No processo de peritagem de acidente de trânsito rodoviário, o perito é um dos principais intervenientes, pelo papel que desempenha como auxiliar da justiça nos levantamentos de vestígios nos locais de acidente de trânsito, ajudando a determinar a dinâmica e estudar a causa determinante dos acidentes de trânsito, gerando ao final um auto pericial que chegará ao juízo e então será avaliado pelo juiz dentro de processo criminal ou civil.

Neste trabalho de licenciatura se encontra ilustrado com figuras necessárias e pertinentes, em que nalgumas situações há uso de equações matemáticas, imprescindíveis no estudo de um fenómeno físico como é o caso do acidente de trânsito, a explicação quanto ao significado de cada variável se encontra no corpo do texto. Também está incorporado alguns aspectos descritivos, conceptuais e analíticos acompanhados por um tratamento físico-matemático, daqueles aspectos mais específicos dessas ocorrências.

Para este trabalho de licenciatura, usou-se a estratégia que facilita a compreensão do conhecimento científico, ilustrando a forma como é construído e realçando o seu carácter evolutivo. A estratégia usada foi o estudo de um caso de acidente de trânsito rodoviário ocorrido na cidade de Maputo, com o objectivo de analisar algumas aplicações de conhecimentos físicos na perícia de acidentes de trânsito rodoviário, através de tratamento físico-matemático e análises.

O trabalho está organizado em cinco capítulos, onde o primeiro capítulo está dedicado à introdução e os objectivos a alcançar durante a pesquisa. No segundo capítulo faz-se a revisão da literatura, traçando o quadro teórico da investigação. No terceiro capítulo refere-se ao enquadramento metodológico, enquanto o quarto capítulo faz-se análise e discussão dos resultados da pesquisa, mostrando uma actividade de campo ou seja, um acidente de trânsito real, com as devidas aplicações físicas. No quinto e último capítulo são apresentadas as conclusões e recomendações, e, por fim, referências bibliográficas e os anexos.

1.2.Contextualização do Trabalho

Este trabalho de licenciatura enquadra-se no contexto educacional de ensino de física numa forma profissionalizante aos peritos de acidente de trânsito, e tem em vista contribuir para a melhoria da qualidade de ensino que se reflectirá na deontologia da perícia criminalística, através de subsídios que poderá vir fornecer às entidades educacionais e às instituições de formação desses peritos. Para além de que as pessoas que recebem tais informações, de toda a problemática que o trânsito gera e de que forma o conhecimento físico-matemático é empregue para explicar alguns de seus efeitos.

Diversos pesquisadores da área educacional vêm-se dedicando incansavelmente à busca de estratégias instrucionais que levem em conta o que os estudantes pensam, como percebem e compreendem os fenómenos que vão ser estudados (Carvalho:1992). O estudo centra-se na análise das aplicações de conhecimentos físicos na perícia de acidentes de trânsito rodoviário. Para que isso se efective, fez-se na cidade de Maputo o estudo de um caso de acidente de trânsito que envolveu duas viaturas que estavam em movimento seguindo mesma trajectória, direcção e sentido, ao colidirem passaram a se deslocar separadamente até se estabelecer a posição de repouso final.

Este trabalho de licenciatura é importante porque demonstra a presença da física na análise, na reconstrução e na prevenção do acidente, cujos dados finais facilitarão a quem de directo aplicar a legislação em vigor de modo a determinar as causas ou efeitos ou motivos determinantes do acidente.

1.3. Problema de Investigação

Nos dias actuais pelo número cada vez maior de veículos terrestres presentes nas vias moçambicanas, decorrente do avanço económica que o país está registar, mas por de trás disso, traz a reboque número absurdo, senão inaceitável, acidente de trânsito automobilísticos que ceifam vidas humanas, deixam outros aleijados e dilaceram patrimónios pessoais e públicos.

Com o desenvolvimento da indústria automobilística permitiu a fabricação de veículos mais velozes e em grande quantidade. Desta forma, ao longo do tempo os acidentes passaram a acontecer com maior frequência e violenta. Por isso que as vias públicas devem ser convenientemente sinalizadas nos pontos em que o trânsito ou o estacionamento estejam vedados ou sujeitos à restrições e, bem como, onde existem obstáculos, curvas encobertas, cruzamentos, entroncamento e passagens de nível ou outras circunstâncias que imponham aos condutores

precauções especiais (Decreto-Lei nº.1/2011).

Dentre várias causas imediatas que provocam acidentes há que destacar o excesso de velocidade.

A velocidade, elemento físico, é um factor preponderante em acidente de trânsito, e tem mudado consideravelmente a realidade dos casos de acidentes actuais, visto que a velocidade pode tornar os veículos e as pessoas mais frágeis.

Com este problema de acidente que tem se causado pelo excesso de velocidade ou velocidade excessiva/inadequada, neste trabalho de licenciatura é demonstrado a parte física e os processos que compõem toda a trajectória.

1.4. Justificativa

A escolha deste tema foi lhe suscitado por seguintes motivos: durante o estágio (ao seu pedido para observação participativa em função deste tema com finalidade de recolha de dados), decorrido entre os meses de Maio à Novembro de 2012, na 5ª Esquadra da Polícia de República de Moçambique (esquadra com funções de atendimento de casos de acidentes de trânsito), na cidade de Maputo, constatou-se que os autos elaborados os aspectos descritivos e analíticos do acidente de trânsito não são acompanhados por um tratamento físico-matemático, que é a parte mais chave de um acidente de trânsito na determinação da causa – efeito.

Como motivação pessoal há que destacar o facto de ser membro da Polícia da República de Moçambique – PRM, e futuro profissional da área de ensino de Física, deseja responder uma pergunta feita por alguns dirigentes seus, a quanto do seu ingresso no curso de Física na UEM “ *Onde vai aplicar física na Polícia?* ”; demonstrando a aplicação do conhecimento da física na análise, na reconstrução e na prevenção de acidentes de trânsito.

1.5. Objectivos

1.5.1. Objectivo Geral

- Analisar algumas aplicações da física na investigação de acidentes de trânsito rodoviário.

1.5.2. Objectivos Específicos

- Descrever a aplicação do conceito de atrito em acidente de trânsito rodoviário;
- Descrever a aplicação das leis de Newton em acidente trânsito rodoviário;
- Aplicar o princípio da conservação da energia e o princípio da conservação da quantidade de movimento, para calcular o valor aproximado da velocidade.

1.6. Perguntas de Pesquisa

Identificado o problema, torna-se imperioso colocar algumas questões que irão iluminar o desenvolvimento da pesquisa. Assim, o presente trabalho de investigação propõe-se a responder às seguintes questões:

- a) Por que no movimento de um veículo existem forças que influenciam num acidente de trânsito?
- b) Como calcular a velocidade dos veículos que se envolvem num acidente de trânsito?

1.7. Delimitação da Pesquisa e Características da Área de Estudo

A primeira fase consiste em delimitar a unidade que constitui o caso, o que exige habilidades do pesquisador para perceber quais dados são suficientes para se chegar à compreensão do objecto (Gil:1995).

Neste trabalho de licenciatura limitou-se na análise de como pode se calcular a possível velocidade da viatura num acidente de trânsito. Portanto foi analisado os seguintes aspectos:

- a) A geometria do plano (horizontal e inclinado);
- b) A trajectória (rectilínea ou curvilínea);
- c) Se a eficiência da derrapagem é distribuída em todas as rodas;
- d) O veículo trava até total imobilização ou não, sem haver colisão ou não.

O estudo foi realizado na Avenida Eduardo Mondlane, em que duas viaturas seguiam o mesmo sentido, saindo do Edifício do Distrito Municipal de Kampfumu no sentido a estátua de Eduardo Mondlane. O acidente ocorreu após três metros do KFC, perto do Hospital Central de Maputo.

CAPÍTULO 2 - Revisão da Literatura

Neste capítulo faz-se uma revisão com o tema em estudo abordando conceitos básicos da mecânica clássica; leis de Newton; conservação da energia mecânica, coeficiente de atrito; diversas situações de cálculo da velocidade através de (plano horizontal em trajectórias rectilínea e curvilínea, plano inclinado, princípio da conservação de energia e princípio da conservação da quantidade de movimento) e causa determinante do acidente.

2.1. Princípios de Física dos Acidentes de Trânsito

2.1.1. Leis da Mecânica

A mecânica clássica analisa as forças que os corpos exercem entre si e relaciona as variações ocorridas no movimento de um corpo às forças que actuam sobre ele. Ela descreve o fenómeno utilizando as três leis de Newton de movimento. Estas leis são válidas para os referenciais inerciais.

1ª Lei de Newton para o movimento também é conhecida como a *lei da inércia* – “um corpo em repouso permanece em repouso a menos que sobre ele actue uma força externa. Um objecto em movimento desloca-se com velocidade constante, a menos que sobre ele actue uma força externa”.

O facto de um corpo permanecer em repouso ou em movimento com velocidade constante depende do sistema de referência em relação ao qual ele é observado. Esta lei define sistemas de referências inerciais, a qual é observado, e também, é uma propriedade de todos os corpos associados a massa m , e em virtude da qual o corpo oferece resistência em alterar sua velocidade. Se a resultante das forças sobre um corpo é nula, esse se encontra em repouso ou em movimento rectilíneo uniforme, sendo assim, em velocidade constante. Para que esses estudos sejam abandonados, deve agir uma força resultante (Tripler: 2006).

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \text{conduz a} \quad \vec{a} = 0 \quad (1.01)$$

Esta lei é fisicamente interpretada da seguinte maneira: com o efeito do estado de movimento em que os passageiros se encontram tende a manter-se; se a travagem for brusca, produzindo a paragem súbita do carro, rouba o suporte aos passageiros, pois a força de travagem apenas actua no carro, principalmente se os passageiros não tiverem cintos a protegê-los (Indias:1992).

Neste caso, entende-se o motivo pelo qual a legislação de trânsito obriga a utilização de cinto de segurança e os dispositivos de segurança para os menores de sete (07) anos de idade.

2ª Lei de Newton para o movimento também chamada de *princípio fundamental da dinâmica* – “A aceleração de um corpo tem a direcção e o sentido da força externa resultante que actua sobre ele” (Tripler:2006).

A aceleração é proporcional à força externa resultante obedecendo a relação:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_R = \sum \vec{F} \quad \text{assim}$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (1.02)$$

Onde

\vec{a} – Representa a aceleração produzida pela força \vec{F} ao actuar sobre o corpo de massa m (suposta constante, que faz o papel de resistência ao movimento).



Figura 1- Força resultante que actua numa viatura em movimento.

Para interpretação física da 2ª lei de Newton vamos considerar duas situações distintas:

a) *O carro desloca-se em terreno plano e horizontal*

Neste caso, à força proveniente do motor, opõe-se o atrito entre os pneus e o solo e a resistência do ar, que se pode desprezar se a velocidade não for muito grande. É, pois, a resultante dessas forças que será responsável pela aceleração do carro.

b) *O carro desloca-se numa rampa.*

Neste caso, às forças anteriormente referidas, devem acrescentar a componente do peso do carro

segundo a direcção da rampa; é fácil de ver que, se o carro desce a rampa, essa componente ajuda a força proveniente do motor e, se o carro sobe, vai contrariá-la.

De um ou de outro modo temos, de novo, a resultante de várias forças a ser responsáveis pela aceleração e desaceleração (como atrito, resistência do ar, do motor, a pressão de pé sobre acelerador, a pressão sobre travões e o peso).

Após a interpretação física da 2ª lei de Newton acima surge uma pergunta:

Podemos afirmar que esta resultante é uma força constante?

Dependendo da aceleração do motor e, em última análise, da pressão do pé sobre o acelerador, é praticamente impossível garantir-se a insistência dessa pressão. Por outro lado, a força de atrito variará também, mais ou menos conforme a heterogeneidade do pavimento. Todos esses factores contribuem para que se deva considerar *variável* a força responsável pela aceleração do veículo. Neste contexto, estamos perante o movimento acelerado quando -se acelera um veículo (e não uniformemente acelerado) embora possa passar por fases em que se apresente uniformemente acelerado, em que há uma travagem os factores acima referenciados intervêm na força global que actua sobre o veículo. Por isso apenas se pode garantir que o movimento será retardado, embora, eventualmente, possa ter uma aceleração constante (Índias:1992).

3ª Lei de Newton para o movimento, também conhecida de *lei de acção e reacção* - “Quando duas partículas interagem, a força sobre uma partícula é igual em módulo, e de sentido contrário, a força sobre a outra” (Alonso e Finn:1992).

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (1.03)$$

A lei de acção e reacção é de grande utilidade na resolução de muitos problemas, como por exemplo, nas colisões. As leis do choque que serão apresentados ao longo deste trabalho, tem como ponto de partida, a igualdade da acção e da reacção.

Por outro lado, a força que se estabelece entre as rodas de um veículo e a superfície em contacto se denomina de força de atrito. Esta força é muito importante não só para o deslocamento do veículo, mas também para acção de travar. A superfície exerce uma força de atrito para frente nos pneus de um carro acelerando, então também é uma força de atrito que a terceira lei de Newton prediz para os pneus puxando o carro para trás da superfície.

2.1.2. Conservação de Energia Mecânica

Nesta secção faz uma abordagem da lei de conservação de energia mecânica incluindo a energia cinética e energia potencial.

2.1.2.1. Energia Cinética

Considerando, primeiramente, distância elementar $d\vec{r}$, o trabalho elementar dW , será dada por :

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = Fdr = m \cdot a \cdot dr = m \frac{dv}{dt} dr = m \frac{dr}{dt} dv = mv dv$$

$$W = \int_{v_1}^{v_2} mv dv = \frac{1}{2} m \Delta v^2$$

$$W = \frac{1}{2} m \Delta v^2 = \Delta E_c \quad (2.01)$$

Se consideramos que no início a viatura estava em repouso, $v_i = 0$, então a expressão (2.01) será:

$$W = \frac{1}{2} mv^2 = E_c \quad (2.02)$$

A expressão (2.02) afirma que o trabalho realizado pela resultante de todas as forças actuando sobre uma viatura se traduz na variação da energia cinética (Indias:1992). Quando não existe atrito envolvido, o trabalho realizado sobre o sistema e a variação na energia mecânica do sistema são iguais (Halliday:2006).

Sabe – se que, o trabalho é a energia produzida por uma força constante \vec{F} ao deslocar um corpo numa distância $d\vec{r}$, e tendo em conta que esta mesma força e a distância tem a mesma direcção e sentido, é expresso por:

$$W = F \cdot d \cdot \cos\theta \quad \text{Onde: } \theta \text{ - é ângulo entre } \vec{F} \text{ e } \vec{r} \quad (2.03)$$

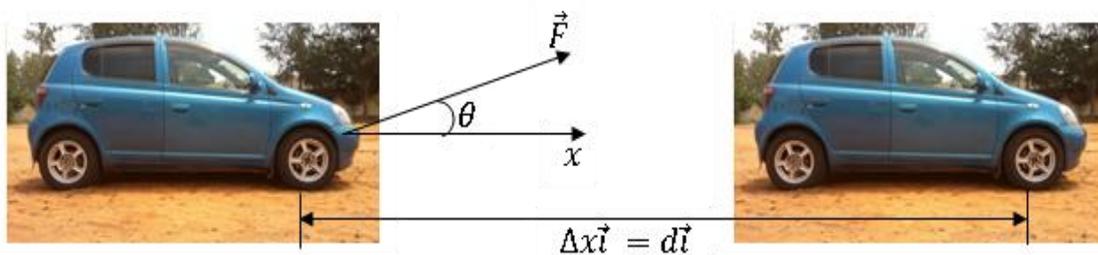


Figura 2: Trabalho realizado por uma força ao deslocar uma viatura numa distância.

O trabalho é uma grandeza escalar porque tem mesma direcção \vec{F} e $d\vec{l}$, e é positivo se F e d possuem mesmos sinais e negativo se tiverem sinais opostos. Num plano horizontal em que $\theta = 0$, então o trabalho será:

$$W = F \cdot d \quad (2.04)$$

Para explicar as consequências de uma travagem de repente, baseia-se no conhecimento da enorme quantidade de energia cinética que um carro, em andamento, transporta; ao fazer uma travagem brusca, há uma transferência dessa energia para a frente; como consequência a aderência das rodas traseiras ao piso da estrada diminui, provocando a travagem.

2.1.2.2. Energia Potencial

O significado de potencial aplicado à energia de um corpo: será a energia que ele possui pelo facto de ocupar uma certa posição e que pode, ou não, converter-se em trabalho. Para uma compreensão vamos considerar uma viatura numa rampa, a expressão do trabalho será:

$$W = Ph = mgh \quad (2.05)$$

A expressão (2.05) representa o trabalho da força da gravidade quando a viatura desce a rampa, sendo a h , a diferença de nível entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da rampa (veja a figura 6).

No entanto, para colocar a viatura no cimo da rampa, houve que realizar um trabalho igual e de sinal contrário ao da gravidade. Por outras palavras teve de se vencer a força com que a terra o atraia. Foi comunicada, deste modo, a viatura, uma energia mgh , dependente apenas da altura em relação ao ponto inicial; designa-se por *energia potencial*, (E_p) e só se manifestará se a viatura sair do repouso.

Em suma, o trabalho realizado pela força de gravidade na *subida* da viatura é *negativo* e é igual a um aumento de energia potencial da viatura; e o trabalho realizado pela força de gravidade na *descida* da viatura é *positivo* e é igual à diminuição da energia potencial da viatura.

2.1.3. Atrito

Quando um corpo desliza sobre outro ou roda sobre a sua superfície, origina-se uma força \vec{F} que se opõe ao movimento, chamada de *atrito* (Enciclopédia dos conhecimentos oceânicos). A força de atrito é paralela à superfície e está dirigida de modo a se opor ao deslizamento.

Uma investigação quantitativa mostra que, em módulo, o atrito F_a é aproximada e directamente

proporcional à força normal de reacção F_N . Numa superfície nivelada, a reacção normal é igual ao peso P de um objecto.

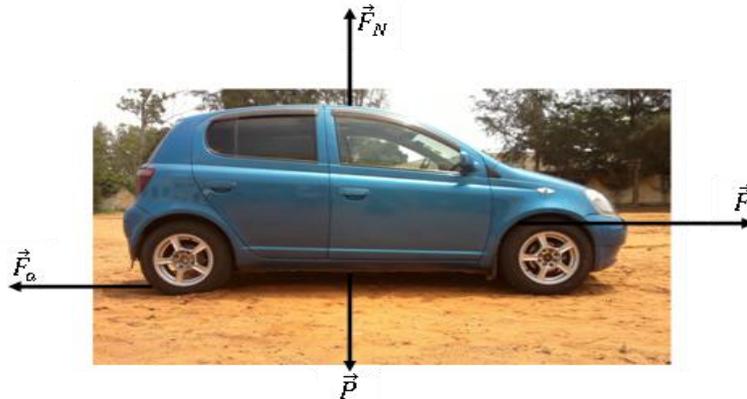


Figura 3. Diagrama de forças em uma viatura percorrendo um plano horizontal.

$$F_a = \mu F_N$$

$$F_N = F_P = mg$$

$$F_a = \mu mg \quad (3.01)$$

Onde

F_a -Força de atrito;

μ - Coeficiente de atrito (é a quantidade de força que resiste ao movimento) e

F_N - Força da normal (é a força com que uma superfície está sendo empurrada para o outro e o coeficiente de atrito).

2.1.3.1. Coeficiente de atrito

O coeficiente de atrito é um coeficiente adimensional que mostra as superfícies de dois corpos em contacto ao deslizar um em relação ao outro.

O valor do coeficiente de atrito é característico de cada par de materiais, e não sendo uma propriedade intrínseca do material. Ele depende de muitos factores tais como a natureza dos materiais, o acabamento das superfícies em contacto, a velocidade relativa entre as superfícies, temperatura e a contaminação (Tripler:1994).

A razão entre o atrito e a normal é constante e depende somente da natureza das superfícies de contacto. Essa constante é chamada de *coeficiente de atrito* e usualmente é representada com a letra grega μ .

$$\mu = \frac{F_a}{F_N} \quad (3.02)$$

Seu valor é usualmente menor do que 1. O valor de μ entre o pneu e a superfície da estrada é o valor chave na investigação dos acidentes de trânsito.

Existem dois tipos de coeficiente de atrito a saber:

Coefficiente de atrito estático μ_e – Quando se aplica uma pequena força horizontal \vec{F} a uma viatura em repouso sobre um piso, a viatura pode não se mover porque a força de atrito estático F_{a_e} exercida pelo piso sobre a viatura equilibra a força que foi aplicada (Tripler:2006). A força de atrito é maior do que a força aplicada.

$$\mu_e = \frac{F_{a_e}}{F_N} \quad (3.03)$$

Coefficiente de atrito dinâmico μ_d - dá nos a força mínima necessária para manter os dois corpos em movimento relativo uniforme (Alonso e Finn:1992). É com este coeficiente, quando um corpo desliza, o piso exerce uma força de atrito dinâmico também chamado de *atrito de deslocamento*, que se opõe ao movimento. Para manter o corpo deslizando com velocidade constante é necessário exercer sobre ele uma força de mesmo módulo e sentido oposto ao da força de atrito dinâmico exercida pelo piso. O coeficiente de atrito dinâmico é igual à relação dos módulos de força de atrito dinâmico F_{a_d} e da força normal F_N .

$$\mu_d = \frac{F_{a_d}}{F_N} \quad (3.04)$$

Sabe – se de forma experimental que a força necessária para manter um objecto a deslizar a velocidade constante é menor que a necessária para o pôr em movimento. Isto é, que a força dinâmico é sensivelmente menor que a força de atrito estático. Consequentemente, comparando as expressões (3.03) e (3.04), deduz – se que:

$$\mu_e > \mu_d \quad (3.05)$$

Para duas superfícies de determinados materiais em contacto, o coeficiente de atrito estático é maior que o coeficiente de atrito dinâmico veja a tabela 1. No caso das travagens o coeficiente de

atrito considerado é o dinâmico.

Quanto aos aspectos periciais acerca do coeficiente de atrito, considera – se o seguinte:

- ✓ O coeficiente de atrito depende de variáveis como a natureza das superfícies, ou seja, dos tipos de superfícies;
- ✓ A definição do tipo e as condições da superfície é fundamental na escolha do valor correcto do coeficiente de atrito;
- ✓ Esse coeficiente depende da existência ou não de filmes superficiais e da contaminação; a presença de fluidos e contaminantes, como terra ou areia, na superfície pavimentada devem ser considerados;
- ✓ No caso de valores tabelados com limites extremos de mínimo e máximo, para os coeficientes de atrito, o perito deve fazer sua análise de velocidade considerando as duas situações extremas no cálculo de velocidade e sua influência na definição da causa determinante.

No caso de acidentes de trânsito existem cálculos experimentais de coeficientes de atrito divulgados, conforme as tabelas, abaixo:

Tabela 1: Valores aproximados da diferença entre os tipos de coeficiente de atrito (*Adaptado de Tripler:2006*).

<i>Nº.</i>	<i>Materiais</i>	<i>Coeficiente de Atrito Estático μ_e</i>	<i>Coeficiente de Atrito Dinâmico μ_d</i>
01	Aço Sobre Aço	0,7	0,6
02	Latão Sobre Aço	0,5	0,4
03	Cobre Sobre Ferro Fundido	1,1	0,3
04	Vidro sobre Vidro	0,9	0,4
05	Teflon sobre Teflon	0,04	0,04
06	Teflon Sobre Aço	0,04	0,04
07	Borracha Sobre Concreto Seco	1,0	0,80
08	Borracha Sobre Concreto Húmido	0,30	0,25
09	Madeira parafinada Sobre Neve (0°C)	0,10	0,05

Tabela 2: Valores aproximados de coeficiente de atrito dinâmico (*Adaptado de Almeida:2011*).

Superfície pneumática versus	Veículo de Passeio		Camião	
	μ_d -seco	μ_d - Húmido	μ_d -seco	μ_d - Húmido
Asfalto Novo	0,85	0,60	0,60	0,42
Asfalto Velho	0,70	0,55	0,49	0,39
Asfalto Escorregadio	0,55	0,35	0,39	0,25
Concreto Novo	0,85	0,55	0,60	0,39
Concreto Velho	0,70	0,55	0,49	0,39
Pedra Limpa	0,60	0,40	0,42	0,28
Pedregulho	0,65	0,65	0,46	0,46
Terra Dura	0,65	0,70	0,46	0,49
Terra Solta	0,50	0,55	0,35	0,39
Pavimento com Areia sobre	0,45	0,30	0,32	0,21
Pavimento com Barro sobre	0,45	0,30	0,32	0,21
Pavimento com Neve sobre	0,30	0,20	0,21	0,14
Barro sobre Pedra	0,40	0,25	0,28	0,18
Gelo Cristal	0,15	0,07	0,11	0,05

2.2. Dinâmica dos Acidentes de Trânsito

Após o contacto com os princípios de física dos acidentes de trânsito no capítulo 2.1., que consiste na utilização de equações físicas utilizadas em um acidente de trânsito, escolheu-se alguns casos numa forma muito simplificada com o objectivo de aos poucos introduzir a física de maneira gradual dentro do contexto.

Como a dinâmica estuda o movimento segundo as causas, isto é, as forças que o produzem. Neste trabalho de licenciatura destacam-se:

- Dinâmica do ponto*, que se refere aos corpos que apenas possuem movimento de translação, em cujo caso podem ser estudados como se toda a sua massa estivesse concentrada no centro de gravidade.
- Dinâmica do sólido rígido*, que se refere aos corpos que possuem movimento de rotação, independentemente de possuírem ou não movimento de translação.

2.2.1. Acidentes de Trânsito Rodoviário num Plano Horizontal e Trajectórias Rectilíneas

Tendo em conta que a superfície ser plano e da trajectória ser rectilínea, a eficiência da derrapagem é distribuída em todas as rodas do veículo. Neste trabalho considera-se as seguintes situações:

2.2.1.1. Velocidade do Veículo a Partir das Marcas de Travagem

Tomando em consideração que a eficiência da travagem é distribuída em todas as rodas do veículo, vai – se dar como ponto de partida do teorema trabalho energia cinética, isto é, trabalho realizado por uma força é igual a variação da energia cinética E_c , matematicamente a sua relação é dada em (2.01):

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2}m\Delta v^2 = \Delta E_c \\
 F \cdot d &= \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 \\
 m \cdot a \cdot d &= \frac{m(v_f^2 - v_i^2)}{2} \\
 a \cdot d &= \frac{(v_f^2 - v_i^2)}{2} \\
 (v_f^2 - v_i^2) &= 2ad \tag{4.01}
 \end{aligned}$$

A força oposta a força responsável pelo trabalho resultante é a força de atrito, e o sinal negativo indica que o sentido do atrito é oposta à direcção do movimento.

$$\begin{aligned}
 F &= - F_a \Rightarrow m \cdot a = -\mu mg \\
 a &= -\mu g \tag{4.02}
 \end{aligned}$$

A expressão (4.02) refere a um veículo que desacelera ao travar.

Se consideramos que o veículo pára no final da travagem, então sua velocidade final será nula ($v_f = 0$), e a expressão (4.02) substituindo em (4.01) teremos:

$$\begin{aligned}
 v^2 &= 2\mu g d_t \\
 v &= \sqrt{2\mu g d_t} \qquad \text{Considerando } g = 9,81 \frac{m}{s^2} \\
 v &= 4,43 \sqrt{\mu d_t} \tag{4.03}
 \end{aligned}$$



Figura 4: Trecho de travagem em um único pavimento.

A equação (4.03) possibilita determinar a velocidade do veículo v a partir do coeficiente de atrito μ , da aceleração de gravidade g e a d_t distância de (travagem, ou em derrapagem ou em fricção, ou em rolamento) em um único percurso, depende do caso em questão, medida em metro m .

Para converter a velocidade de $\frac{m}{s}$ para $\frac{Km}{h}$, basta multiplicar a velocidade por 3,6.

Caso o veículo percorra *trechos intermitentes de travagem*, em único pavimento, basta somar as diversas fracções de travagem nesse pavimento único e aplicar a distância total encontrada na equação (4.03)

$$v = 4,43 \sqrt{\mu(d_{t_1} + d_{t_2} + \dots + d_{t_n})} \tag{4.04}$$

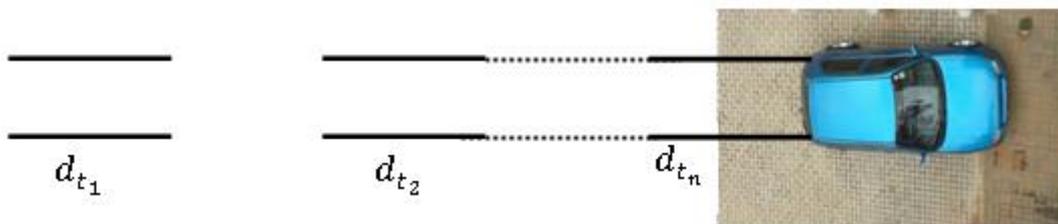


Figura 5: Trechos intermitentes de travagem em um único pavimento.

No mesmo caso apresentado na *figura 5*, pode - se aplicar com facilidade o Princípio da Conservação de Energia.

A energia inicial do veículo, considerando o mesmo de forma isolada, é a mesma energia dissipada no percurso de travagem. Observe que, pelo facto de considerarmos o veículo de forma isolada, a sua massa pode ser cancelada em ambos os lados da equação.

$$\begin{aligned}
 E_i &= E_f \\
 m \frac{v_i^2}{2} &= m \frac{v_1^2}{2} + m \frac{v_2^2}{2} + \dots + m \frac{v_n^2}{2} \\
 v_i^2 &= v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 \\
 v_i &= \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2} \tag{4.05}
 \end{aligned}$$

Cada parcela de velocidade da equação (4.05), pode ser calculada de forma independente, por meio da equação de Torricelli (4.03), que relaciona o deslocamento às velocidades iniciais e finais utilizando a expressão cinemática para o caso de aceleração constante.

As equações (4.03, 4.04 e 4.05), acima demonstradas, assume – se que os travões estejam funcionando adequadamente e que as rodas tenham sido trancadas ao mesmo tempo.

No caso do processo de travagem onde não envolve as quatro rodas, devido a defeitos mecânicos, neste caso a força de atrito é exercida por apenas n rodas menor ou igual a quatro, podemos introduzir o factor $\frac{n}{4}$, na equação (4.03), o que equivale a dizer que $\frac{1}{4}$ do peso do veículo esteja actuando sobre roda (Aragão:2003), assim a equação (4.03) se torna:

$$v = \sqrt{2 \frac{n}{4} \mu g d_t}$$

$$v = \sqrt{2 \frac{n}{4} \mu g d_t} \quad \text{Considerando} \quad g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$v = 2,21 \sqrt{\mu n d_t} \quad (4.06)$$

2.2.2. Acidente em Declive e Aclive com trajectória Rectilíneas

Considerando um veículo se deslocando em uma via no sentido do deslocamento de declive de inclinação θ graus, velocidade inicial v_i , quando então passa a se deslocar em processo de travagem por trecho d_t .

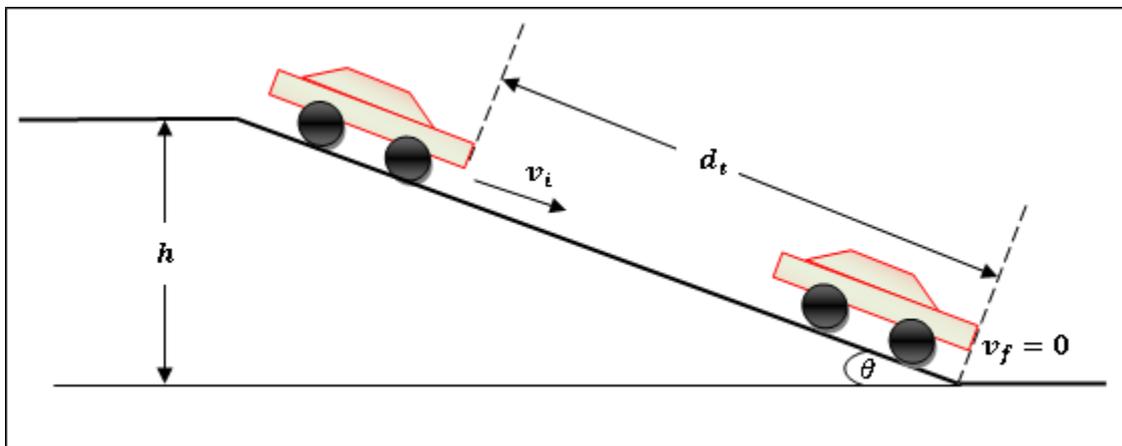


Figura 6: Influência da declividade na velocidade.

No ponto mais alto o veículo possui duas porções de energia: possui energia cinética devido a sua velocidade e possui energia potencial gravitacional, devido a altura do veículo em relação ao plano inferior. No processo de travagem toda essa energia será dissipada, em vez que estamos admitindo que ao final da travagem o veículo se imobiliza.

Pelo Princípio da Conservação de Energia, a energia cinética E_C mais a energia potencial

gravitacional E_P é igual a energia dissipada na travagem E_d .

$$\begin{aligned}
 E_C + E_P &= E_d \\
 m \frac{v_i^2}{2} + m \cdot g \cdot h &= m \frac{v_t^2}{2} \\
 \frac{v_i^2}{2} + g \cdot h &= \frac{v_t^2}{2} \\
 v_i^2 + 2 \cdot g \cdot h &= v_t^2 \\
 v_i^2 &= v_t^2 - 2 \cdot g \cdot h
 \end{aligned} \tag{5.01}$$

Sendo a velocidade de travagem determinada pela equação (4.03) $v_t^2 = 2\mu g d_t$ e segundo a figura 6, a altura h da elevação da pista determina-se pela equação $\text{sen}\theta = \frac{h}{d_t} \Rightarrow h = d_t \text{sen}\theta$, substituindo em (5.01) obtêm – se:

$$\begin{aligned}
 v_i^2 &= 2\mu g d_t - 2 \cdot g \cdot d_t \text{sen}\theta \\
 v_i &= \sqrt{2d_t g (\mu - \text{sen}\theta)} \quad \text{Considerando } g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\
 v_i &= 4,43 \cdot \sqrt{d_t (\mu - \text{sen}\theta)}
 \end{aligned} \tag{5.02}$$

Portanto, a equação (5.02) é para determinação da velocidade inicial de um veículo que se desloca no sentido de um declive.

Considerando um veículo que se desloca em uma pista no sentido de aclave de inclinação θ graus, com velocidade inicial v_i , quando então passa a se deslocar em processo de travagem por trecho d_t .

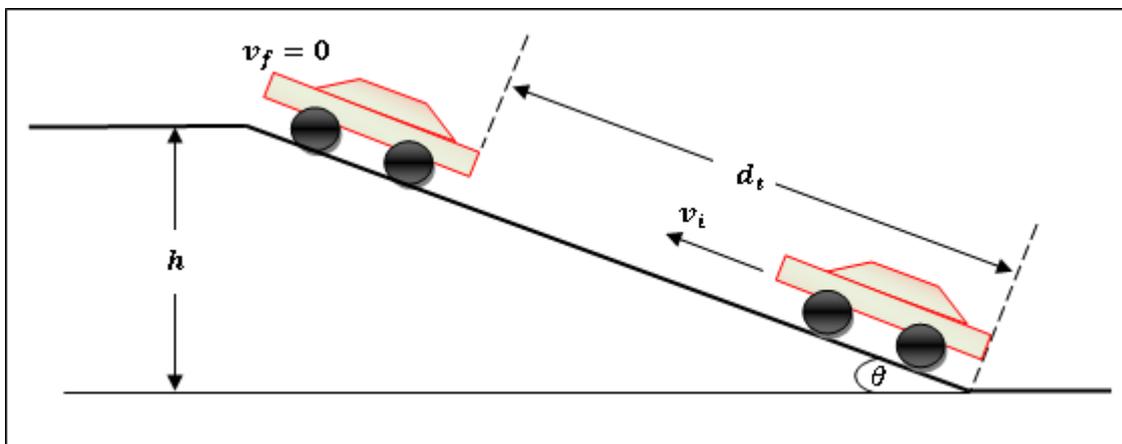


Figura 7: Influência da acividade na velocidade.

No ponto mais baixo, o veículo possui apenas a energia cinética. No processo de subida, parte dessa energia cinética é convertida em energia potencial gravitacional e outra porção é dissipada no processo de travagem.

Pelo Princípio da Conservação de Energia PCE, a energia cinética E_C se converte em energia potencial E_P e se dissipa na travagem, então a energia inicial corresponde à soma da parcela de energia potencial gravitacional com a energia dissipada E_d .

$$E_C = E_P + E_d$$

$$m \frac{v_i^2}{2} = m \cdot g \cdot h + m \frac{v_t^2}{2}$$

$$\frac{v_i^2}{2} = \frac{v_t^2}{2} + g \cdot h$$

$$v_i^2 = v_t^2 + 2 \cdot g \cdot h \quad (5.03)$$

Sendo a velocidade de travagem determinada pela equação (4.03) $v_t^2 = 2\mu g d_t$, e segundo a figura 7, a altura h da elevação da pista determina-se pela equação $\text{sen}\theta = \frac{h}{d_t} \Rightarrow h = d_t \text{sen}\theta$, substituindo em (5.03) obtêm – se:

$$v_i^2 = 2\mu g d_t + 2 \cdot g \cdot d_t \text{sen}\theta$$

$$v_i = \sqrt{2d_t g (\mu + \text{sen}\theta)}$$

$$\text{Considerando } g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$v_i = 4,43 \cdot \sqrt{d_t (\mu + \text{sen}\theta)} \quad (5.04)$$

Portanto, a equação (5.04) é para determinação da velocidade inicial de um veículo que se desloca no sentido de um aclave.

2.3. Colisão Entre Dois Veículos que Terminam Separados Um do Outro

Um acidente entre dois veículos deve ser estudado como sendo a interação entre dois veículos. Em algumas situações é mais adequado aplicar o Princípio da Conservação de Energia PCE e em outras situações é mais conveniente aplicar Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento PCQM.

2.3.1. Princípio da Conservação de Energia em Veículo Isolado

A aplicação do Princípio de Conservação de Energia consiste em se tomar os veículos de forma isolada e calcular todas as parcelas de energia dissipadas E_d nos percursos de travagem, fricção e

derrapagem, conforme o tipo de pavimento. Ao final, faz-se a soma das parcelas de energia pela equação (4.05), sendo que uma das parcelas a ser incluída corresponde aos danos apresentados pelo veículo (velocidade de danos).

$$v_i = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_d^2} \quad (6.01)$$

Cada parcela de velocidade da equação (6.01), com excepção da última parcela, pode ser calculada de forma independente, por meio da equação (4.03). A última parcela que corresponde a velocidade de danos pode ser calculada segundo a *tabela 3* ou recorrer os valores das *tabelas 4 e 5*.

2.3.2. Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento

Antes de detalhar sobre Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, temos que compreender o conceito de *quantidade de movimento*, que é uma grandeza física que relaciona a massa e a velocidade dos objectos.

Quantidade de movimento linear de um objecto (\vec{P}): é o produto da massa pela velocidade dos objectos. Envolve apenas uma alteração na intensidade do vector velocidade, uma vez que a massa é uma grandeza escalar, isto é, tem apenas valor numérico.

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = m \vec{v}_{cm} \quad (7.01)$$

Dessa forma, a quantidade de movimento linear de um objecto é também uma grandeza vectorial que tem a mesma direcção e o mesmo sentido da velocidade, sendo formado pelo produto de uma grandeza escalar (massa) e por um vector (velocidade). Graficamente é representada por um segmento de recta orientado, ou seja, uma seta segundo a *figura 8*, tendo em conta:

A Intensidade: o valor numérico (módulo) acompanhado da unidade de medida, (neste caso no S.I. $\frac{Kg \cdot m}{s}$);

A Direcção: recta onde se indica o traçado do vector quantidade de movimento, a mesma direcção de movimento do veículo (que pode ser horizontal ou vertical) e

Sentido: a indicação para onde a seta do vector aponta, neste caso, sentido de movimento do veículo (direita ou esquerda).

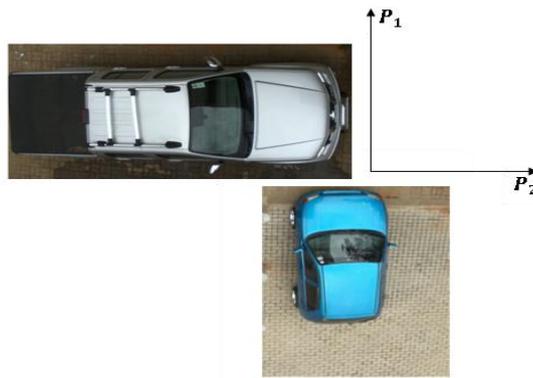


Figura 8: Representação dos dois vectores P_1 e P_2 .

A soma vectorial de forma gráfica significa representar os vectores que actuam em um corpo por meio de setas (representação gráfica dos vectores) em um desenho em escala e utilizar-se de um método para se fazer a referida soma. O resultado da soma de dois vectores, certamente é um vector, sendo este chamado de vector resultante. Vector resultante na verdade não existe fisicamente, mas representa todos os vectores que actuam em um corpo no momento em que se faz a soma vectorial.

Para fins de entendimento, o método gráfico, a ser utilizado é o *método da soma vectorial pela fila* que consiste na representação dos vectores que actuam em um corpo.

2.3.2.1. Método da Soma Vectorial Pela Fila

Tomando em consideração a *figura 8*, representa-se primeiro vector P_1 (considerando seu módulo, sua direcção e seu sentido), a partir do final de P_1 representa-se P_2 . O vector resultante P_R é o vector quantidade de movimento que parte do início do primeiro vector P_1 e termina no final do último vector P_2 . Podendo evidentemente esse vector resultante P_R ser medido por régua ou escalímetro, caso o desenho seja feito na prancha, registrando os valores das distâncias da *figura 9* ou por ferramentas de dimensão e cota, caso o desenho seja feito assistido pelo computador.

Para obter as distâncias b e c , depende da medida da distância a que atribui o vector resultante P_R e o ângulo entre o vector resultante P_R com o primeiro vector P_1 . O ângulo é determinado por cálculo após de obter as medidas dos lados triângulos formados na medição e usar as relações trigonométricas de seno, cosseno ou tangente. No levantamento dos dados no local de acidente de trânsito usa – se a fita métrica, corda, prumo ou nível, e é necessário definir dois eixos ortogonais aproveitando os objectos existentes no local como ponto de referência. Porém, os referenciais devem formar ângulo de 90 graus entre si, caso contrário não da certo.

Os ângulos de saída ou de entrada são determinados em desenho em escala, na prancheta ou num papel.

Existem vários tipos de triângulo e cada tipo de acidente de trânsito o seu croquis poderá ter um dos formatos desses tipos de triângulos. Para tal no seu desenho de croquis é necessário que faça projecções de modo a obter triângulo rectângulo, razão pela qual é necessário ter um domínio profundo da soma e diferença de triângulos.

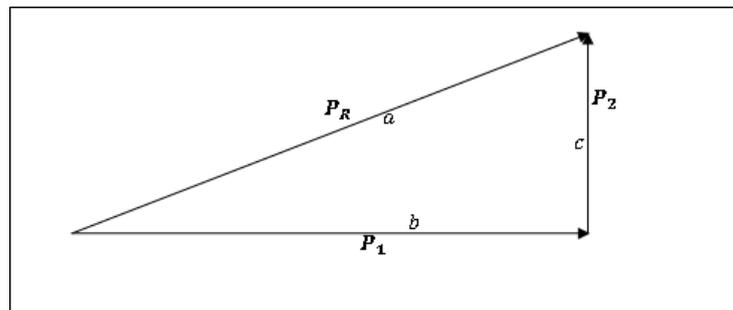


Figura 9: Método gráfico da soma vectorial pela fila.

Em relação aos desenhos de vectores, não importa qual escala, ou qual unidade de medida seja usada. Se o desenho for feito respeitando-se as proporções de cada vector e respeitando-se a direcção e o sentido, também o resultado final certamente será satisfatório. Quando se informa por exemplo que um vector quantidade de movimento tem valor de $P = 25000 \frac{Kg.m}{s}$, tal valor pode ser representado no desenho como sendo **25 cm ou 25 m ou 25 mm**.

O importante é que outro vector representado no mesmo problema também seja representado na mesma unidade de medida do primeiro, neste caso não se admite incongruências.

Aplicar o método da fila para somar vectores, de certa forma evita-se o uso de operações complexas da trigonometria, e também evitando a aplicação numérica de diversos teoremas matemáticos, tais como o Teorema de Pitágoras, a lei dos senos ou a lei dos cossenos, que não são afectos a todos, ainda que tenha simpatia com a matemática.

O Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento PCQM é um dos princípios mais fundamentais e universais da física. O enunciado diz que “ *a quantidade de movimento total de um sistema composto de duas partículas sujeitas as suas interacções mútuas permanece constante*” (Alonso e Finn:1992).

$$\sum_{i=1,2} \vec{P} = cte \quad (7.02)$$

Este princípio é uma metodologia prática para determinação de velocidades de veículos em acidentes, com duas unidades veiculares. Isto é, o objectivo principal é determinar a velocidade dos veículos antes ou no momento da colisão. Ajuda inclusive para melhorar a compreensão do auto de perícia de acidente de trânsito, apresentando assim cálculos que podem ser agregados nos autos, resultando em elemento de auxílio na solução de caso de acidentes de trânsito do tipo interceptação, colisão frontal e traseira.

Este método consiste, em síntese, na análise do acidente em três fases distintas, mas que são interligadas: o momento anterior à colisão, o momento da colisão – da interacção entre as duas unidades veiculares e o momento posterior à colisão, (*veja figura 10*). Também este método consiste na reconstrução e análise do acidente a partir do momento posterior à colisão até ao momento anterior à colisão. O Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, nos informa que a quantidade movimento resultante da soma vectorial dos dois veículos, *após a colisão*, resultará em quantidade de movimento resultante igual a quantidade de movimento inicial, *antes da colisão*. Sendo então:

$$P_{R_{inicial}} = P_{R_{final}} \quad (7.03)$$

Para se obter velocidade dos veículos antes ou no momento da colisão é feita através de quatro fases do método gráfico de Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.

2.3.2.2. O Método Gráfico de Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento

O método proposto é uma análise física – matemático de uma colisão. Parte de valores reais, vestígios tais como massa dos veículos, marcas de travagem, marcas de fricção, direcção do movimento e coeficiente de atrito e determina-se a quantidade do movimento dos dois veículos, calculando-se a quantidade de movimento pós - colisão, e então, de posse dessas informações, determina-se a velocidade de ambos os veículos que se encaixaria no modelo físico – matemático do princípio da conservação da quantidade de movimento.

Este método consiste na reconstrução da dinâmica do acidente, em uma sequência de passos, correspondentes a quatro fases distintas segundo a *figura 10*, sendo as fases de análise 01 e 02 posteriores à colisão, as fases 03 e 04 correspondentes ao intervalo de tempo anterior à colisão e as fases 02 e 03, correspondentes aos instantes imediatamente após a colisão e imediatamente antes da colisão, respectivamente.

Fase 01

Calcula-se a velocidade dos dois veículos colidentes desde a sua posição de repouso final até o ponto (sitio de colisão) onde ocorre a colisão propriamente dita, ou seja, calcula-se a velocidade dos dois veículos imediatamente após a colisão. Para os referidos cálculos, podem ser utilizados os métodos convencionais de cálculo de velocidade, isto é, usando por analogia a equação (4.03).

$$v_{f_1} = \sqrt{2\mu g d_{desl}} \quad e \quad v_{f_2} = \sqrt{2\mu g d_{desl}} \quad (8.01)$$

Fase 02

Calculada a velocidade dos dois veículos e considerando os ângulos de saída de ambos, entenda-se que nesse caso deve-se efectivamente conhecer a direcção e o sentido que cada veículo tomou logo após a colisão. Calcula-se a quantidade de movimento de ambos os veículos e então calcula-se também a quantidade de movimento final resultante, utilizando-se do método de soma vectorial pela fita.

$$P_{f_1} = m_1 \cdot v_{f_1} \quad e \quad P_{f_2} = m_2 \cdot v_{f_2} \quad (8.02)$$

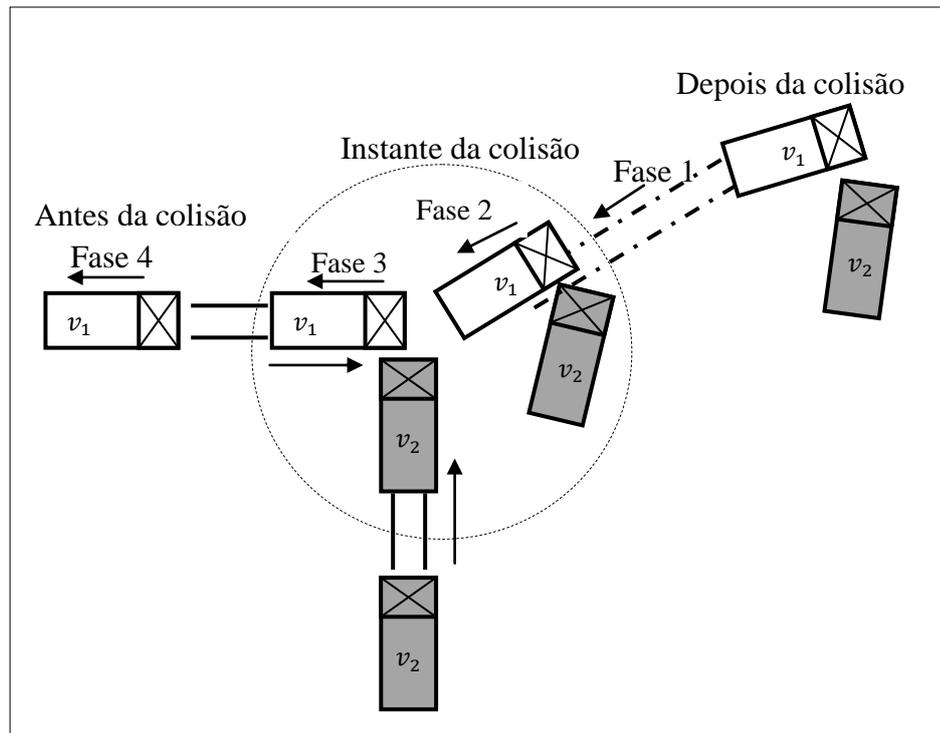


Figura 10: Reconstrução da colisão de duas viaturas.

Fase 03

Esta fase corresponde ao espaço de tempo imediatamente anterior à colisão. Conforme exposto, pelo Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, o vector quantidade de movimento resultante final é igual ao vector quantidade de movimento resultante inicial: $\mathbf{P}_{R_{inicial}} = \mathbf{P}_{R_{final}}$ (equação 7.03). Representa-se então a direcção e o sentido de movimento do primeiro veículo antes da colisão partindo do início do vector resultante \mathbf{P}_R . Da mesma forma representa-se a direcção e o sentido de movimento do segundo veículo partindo do final do vector resultante. Ambas as direcções normalmente se cruzam. As medidas desses segmentos de recta que se cruzam correspondem aos vectores quantidade de movimento de cada veículo no instante imediatamente anterior à colisão. Para se determinar a velocidade no instante da colisão de cada veículo v_{ic} , basta dividir a quantidade de movimento de cada veículo pela sua respectiva massa.

$$v_{1(ic)} = \frac{P_{i1}}{m_1} \quad \text{e} \quad v_{2(ic)} = \frac{P_{i2}}{m_2} \quad (8.03)$$

Para determinar a quantidade de movimento de cada veículo \mathbf{P}_{i1} e \mathbf{P}_{i2} , utiliza-se o método de filas (veja figura 9), de uma forma análoga através da equação (8.04) chegaremos aos resultados que se pretende determinar. Para ter as medições das distâncias a , b , c que correspondem a cada vector da quantidade de movimento, deve seguir os passos mencionados no método da soma vectorial pela fita em (2.3.2.1.) e depois faz a igualdade das variáveis segundo a equação (8.04).

$$\frac{P_R}{a} = \frac{P_{i1}}{b} = \frac{P_{i2}}{c} \quad (8.04)$$

Fase 04

Determinada a velocidade v_{ic} (velocidade no instante da colisão) com que o veículo entrou no sítio de colisão SC, verifica-se os veículos antes de colidirem ainda percorreram algum trecho onde seria possível calcular a velocidade anterior ao impacto inevitável. Tais trechos são materializados por travagens e fricção; então finalmente calcula-se a velocidade do veículo no início do processo de colisão.

$$v_{1t} = \sqrt{v_{1(ic)}^2 + 2\mu g d_t} \quad \text{e} \quad v_{2t} = \sqrt{v_{2(ic)}^2 + 2\mu g d_t} \quad (8.05)$$

Portanto, como se pode observar, o método gráfico de Princípio da Conservação da Quantidade

de Movimento - Gráfico, reconstrói a colisão no caminho inverso ao que o acidente ocorreu.

2.4. Velocidade de Danos – Automóveis

Usando – se o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, é possível observar que não há nenhuma referência à velocidade de danos, que é usada no cálculo pela Velocidade Quadrática ou pelo Princípio da Conservação de Energia equação (6.01). A soma de energia antes da colisão também mostra divergente da soma de energia depois da colisão, facto este perfeitamente coerente, pois se comprova perda de energia por danos enquanto a quantidade de movimento se conserva. Considera a *tabela 3*, para o cálculo da velocidade de danos dos veículos.

Tabela 3: Balanço de energia para obtenção da energia perdida e o valor da velocidade de danos.

Trecho Percorrido	Fórmula	Veículo 1	Veículo 2
Energia Imediatamente antes da colisão	$E_i = \frac{m \cdot v_{ic}^2}{2}$ (Equação 9.01)	Determina a energia de cada veículo, imediatamente antes da colisão, sendo necessário conhecer a velocidade de cada veículo no instante da colisão v_{ic} e sua massa m .	
Energia Imediatamente após da colisão	$E_f = \frac{m \cdot v_f^2}{2}$ (Equação 9.02)	Determina a energia de cada veículo, imediatamente após a colisão, sendo necessário conhecer a velocidade de cada veículo após a colisão v_f e sua massa m .	
Diferença de energia – decorre dos danos	$E_d = E_i - E_f$ (Equação 9.03)	Sabendo-se que ($E_i = E_f + E_d$) a energia inicial é igual à soma de energia final mais a energia perdida devido aos danos, pode – se inferir que ($E_d = E_i - E_f$), podendo ser calculada para ambos veículos.	
Velocidade de dano equivalente	$v_d = \sqrt{\frac{2E_d}{m}}$ (Equação 9.04)	Determinada a velocidade de danos v_d , normalmente usado como referência pelos peritos para avaliar as condições do veículo e sua velocidade; serve como parâmetro para avaliar se o método corresponde à realidade.	

Os danos correspondem à energia dissipada em deformações quando da colisão. A velocidade

pelos danos ou velocidade de danos é instrumento de complementação das parcelas de energia, nos casos em que se avalia velocidade do veículo pelo PCE. Vale também como instrumento de avaliação de cálculo, (verificação de erro), quando se usa o PCQM na determinação de velocidade no instante da colisão. Uma das alternativas de calcular velocidades de danos, em acidentes que não deixa vestígios físicos suficientes, a segunda parcela da equação (6.01), obtêm – se recorrendo as tabelas técnicas, com base na intensidade de avarias ou tipo de avarias, conforme as *tabelas 04 e 05*.

Tabela 4. Velocidade de danos segundo a intensidade das avarias (Adaptado de Almeida:2011).

Intensidade de Avarias	v_d (Km/h)
Leve	Até 20
Media	20 à 40
Gravíssimo	Acima de 60

Tabela 5: Velocidade de danos segundo o tipo de avaria (Adaptado de Almeida:2011).

Tipo de Avarias	v_d ($\frac{Km}{h}$)
Entortar pára-choques	5
Quebrar pára-choques	10
Quebrar pára-choques e grade do motor	15 à 20
Quebrar pára-choques, faróis, afundar grade, amassar capô, deformar lateral anterior	20 à 30
Quebrar pára-choques, faróis, afundar grade, deformar lateral anterior até encostar no motor sem deslocá-lo	30 à 40
Quebrar pára-choques, faróis, afundar grade, amassar, deformar lateral anterior até encostar no motor sem deslocá-lo, deformar suspensão	40 à 50
Afundar grade do radiador mais colmeia	40 à 45
Arrancar suspensão	40 à 45
Arrancar roda directriz	40 à 45
Partir longarina	50 à 60
Arrancar motor dos calços/ deslocar motor	60 à 70
Arrancar roda motriz	50 à 60

2.5. Acidentes em Trajectória Curvilíneas

Quando estamos dentro de uma viatura e contornar uma curva, sentimos a tendência de sermos jogados para fora da curva, motivo pelo qual, na prática, trata-se **da força centrípeta como força centrífuga** (*centrífuga significa fugindo do centro*). Isto deve se porquanto, o atrito é superado, o veículo se afasta da curva tangencialmente e não perpendicularmente à trajectória circular original.

“Um veículo se equilibra dinamicamente e percorre uma curva enquanto a força centrífuga for menor ou igual ao atrito lateral. Quanto maior for a velocidade do veículo, maior será a força centrífuga, consequentemente aumentará o risco do veículo derrapar tangencialmente para fora da curva. Quando o atrito for superado pela força centrífuga, fatalmente o veículo abandonará a trajectória curva que pretendia desenvolver (Aragão:2003).

Tendo em consideração acima exposto, para além da operação de direcção, a velocidade do veículo deverá estar dentro dos limites, pois se ultrapassando os limites estabelecidos terá se como consequência do veículo o deslizamento ou capotamento. Haverá deslizamento ou capotamento porque a velocidade limite foi superada, e o efeito da força centrífuga actua fazendo com que o veículo perde o controlo de direcção, tendendo o veículo a prosseguir pela tangente do arco da curva. O efeito das forças que actua no veículo ao percorrer uma curva poderá ser a base para calcular a velocidade que o veículo pode transitar por uma curva.

Considerando um veículo descrevendo uma trajectória curva e plana (*figura 11*). Num instante t , o veículo está no ponto A , com velocidade v , e aceleração a . Visto que a aceleração a está dirigida para a concavidade da trajectória, podemos decompor numa componente tangencial a_T paralela a tangente e denominada *aceleração tangencial* a_T . E a outra componente normal a_N paralela a normal e é denominada *aceleração normal* a_N . A cada uma dessas componentes tem um significado físico bem definido. Quando o veículo se move, o módulo da velocidade pode variar, e essa variação está relacionada com a aceleração tangencial. A direcção da velocidade também varia e essa variação está relacionada com a aceleração normal. Isto é;

$$a_T = \frac{dv}{dt} \quad (10.01)$$

$$a_N = a_c = \frac{v^2}{R} \quad (10.02)$$

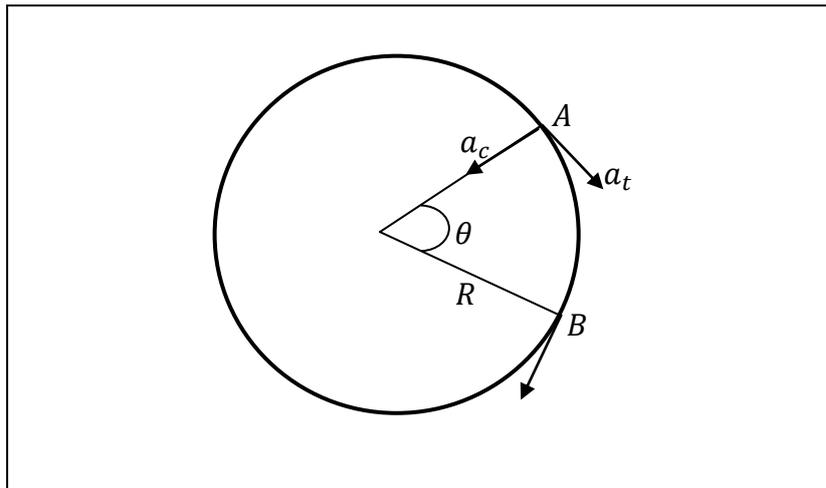


Figura 11. Acelerações tangencial e normal no movimento curvilíneo.

Todavia, antes de nos envolvermos nos processos físicos que ocorrem nos acidentes dos trechos curvos, precisamos ter conhecimento de como medir o raio da curva no local do acidente. Neste caso trace uma corda c , ligando dois pontos da curva; divida essa medida ao meio, obtendo-se dois comprimentos de medida c e faça a medida da flecha d .

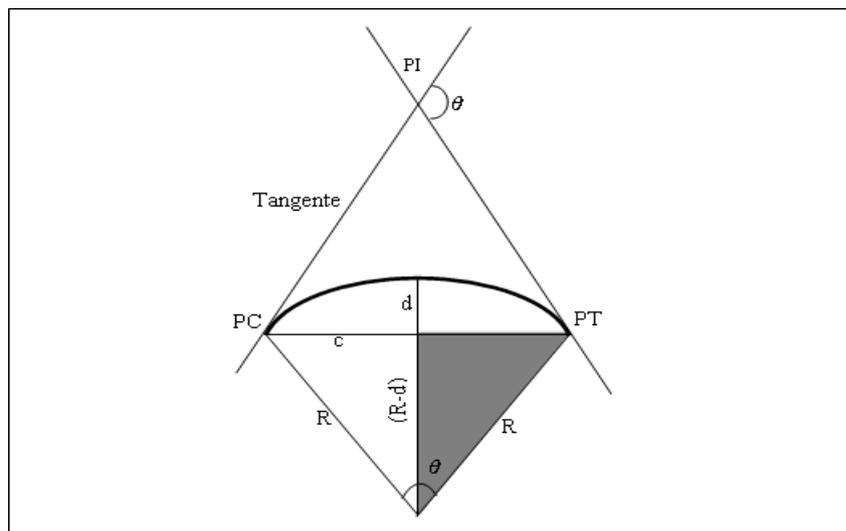


Figura 12. Medição do raio da curva.

No triângulo rectângulo formado pelo prolongamento de d , aplica-se o teorema de Pitágoras:

$$R^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2 + (R - d)^2$$

$$R^2 - (R - d)^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2$$

$$R^2 - R^2 + 2Rd - d^2 = \left(\frac{c}{2}\right)^2$$

$$2Rd - d^2 = \frac{c^2}{4}$$

$$2Rd = \frac{c^2}{4} + d^2$$

$$R = \frac{c^2}{8d} + \frac{d}{2} \quad (11)$$

Portanto a equação (11) dá-nos o raio de curva e os valores de c e d são medidos directamente na curva quando do levantamento do local.

2.5.1. Velocidade Limite nas Curvas Planas

Um dos objectivos pericial em acidentes de trânsito é a determinação da velocidade do veículo envolvido no acidente. Consideremos o movimento de veículo em curva em uma superfície plana como mostra a figura 13.

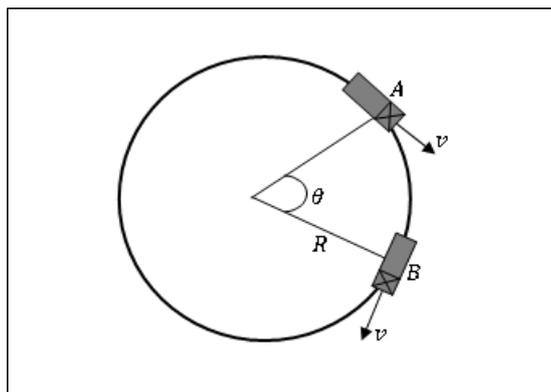


Figura 13. Veículo que percorre uma trajectória curva e plana.

A vista frontal demonstra as forças actuantes no veículo no momento da curva.

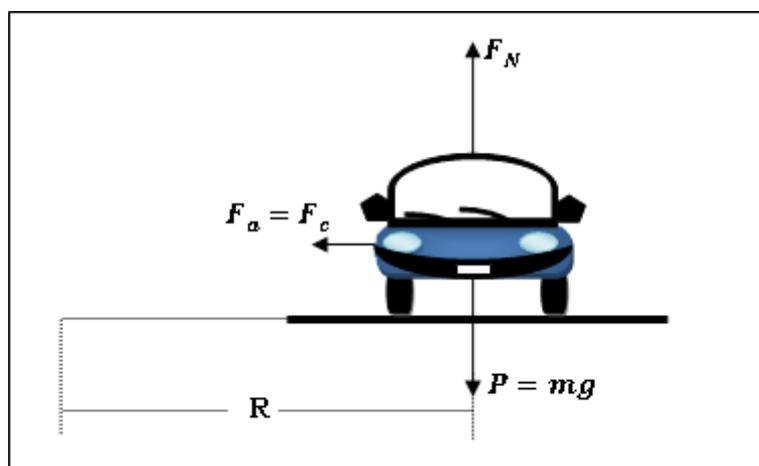


Figura 14. Diagrama de forças em um veículo que percorre curva e plana.

Na vertical, o veículo fica sujeito à força normal F_N , devido ao contacto com a superfície e à força do peso $F_P = P$ decorrente da atracção gravitacional, $F_N = P = mg$. Na horizontal, a força actuante que sustenta o veículo na pista, não deixando que este sofra os efeitos da inércia, é a força de atrito F_a , que actua no sentido de força para dentro da curva. Desta forma, pode se concluir que a força de atrito F_a é igual à força centrípeta F_c , ou seja, a força resultante voltada para o centro da curva.

$$F_c = F_a$$

$$m \cdot a_c = \mu \cdot F_N$$

$$m \cdot \frac{v^2}{R} = \mu \cdot m \cdot g$$

$$\frac{v^2}{R} = \mu \cdot g$$

$$v = \sqrt{\mu g R}$$

Considerando que $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$, teremos:

$$v = 3,13\sqrt{\mu R} \tag{12.01}$$

A equação (12.01) pode ser melhor entendida como sendo a máxima velocidade possível com que um veículo pode fazer uma curva de raio R , sem se desprender desta e não seguir em linha recta devido a sua inércia.

$$v_{m\acute{a}x} = 3,13\sqrt{\mu R} \tag{12.02}$$

2.5.2. Velocidade Limite Nas Curvas Com Super Elevação

Considerando o movimento de um veículo em um trecho de curva como mostra a *figura 13*, considerando que a pista possui super elevação voltada para o interior da curva (*figura 15*). Neste caso, admite-se que existe força de atrito F_a paralela e no sentido contrário ao escape do veículo, ou seja, voltada para o centro da curva.

A vista frontal demonstra as forças actuantes no veículo no momento da curva.

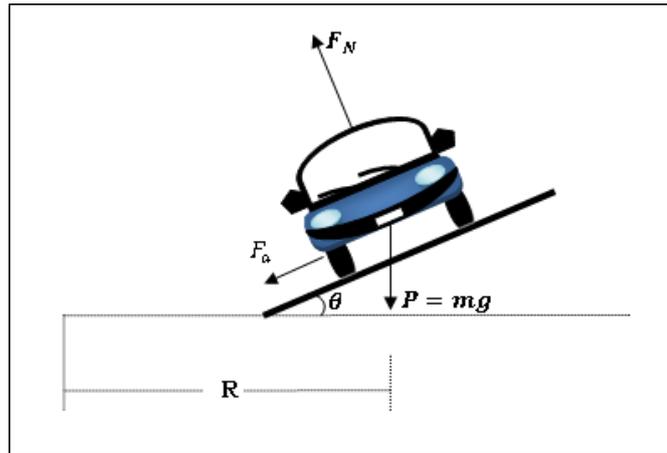


Figura 15. Diagrama de forças que actuam num veículo que percorre uma curva contendo super elevação com atrito.

Neste caso, a força de atrito F_a é uma das componentes da força centrípeta F_c resultante que sustenta o veículo na pista, além do desenho característico da pista com a inclinação θ , voltada para o lado de dentro da curva.

Considerando as duas forças de atrito F_a actuantes no veículo, força normal F_N devido ao contacto com a superfície, a força do peso $F_p = P$, devido à gravidade e força de atrito F_a . A força normal F_N e a força de atrito F_a são decompostas nas direcções horizontal e vertical, conforme o ângulo de inclinação da pista.

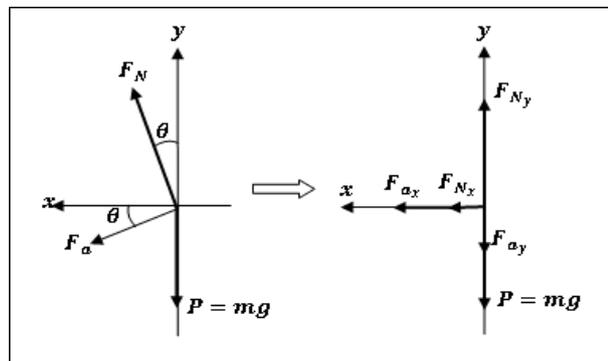


Figura 16: Representação gráfica das forças que actuam num veículo que percorre uma curva contendo super elevação.

$$\text{Na vertical: } F_{Ny} = F_p + F_{ay} \Rightarrow F_N \cdot \cos \theta = mg + F_a \cdot \sin \theta \quad (13.01)$$

Como o $\sin \theta \approx 0$ para ângulos pequenos, então:

$$F_N \cdot \cos \theta = mg$$

$$F_N = \frac{mg}{\cos \theta} \quad (13.02)$$

$$\text{Na horizontal: } F_c = F_N \cdot \text{sen}\theta + F_a \cdot \text{cos}\theta \Rightarrow m \cdot a_c = F_N \text{sen}\theta + F_a \cdot \text{cos}\theta \quad (13.03)$$

$$\text{Como o } \text{cos } \theta \approx 1 \text{ para ângulos pequenos, então: } m \cdot a_c = F_N \text{sen}\theta + F_a$$

Substituindo as equações (10.02), (13.01 e 13.02) em (13.03) teremos:

$$m \frac{v^2}{R} = \frac{mg}{\text{cos } \theta} \text{sen}\theta + \mu F_N$$

$$m \frac{v^2}{R} = \frac{mg}{\text{cos } \theta} \text{sen}\theta + \mu \cdot m \cdot g$$

$$m \frac{v^2}{R} = \frac{mg}{\text{cos } \theta} \text{sen}\theta + \mu \cdot m \cdot g$$

$$m \frac{v^2}{R} = m \cdot g (\text{tg}\theta + \mu)$$

$$v^2 = Rg(\mu + \text{tg}\theta)$$

$$v = \sqrt{gR(\mu + \text{tg}\theta)}, \quad \text{tomando em conta que } g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v = 3,14\sqrt{R(\mu + \text{tg}\theta)} \quad (13.04)$$

A equação (13.04), pode ser melhor entendida como sendo a máxima velocidade com que um veículo pode fazer uma curva de raio R com declive interno num ângulo interno θ , sem se desprender desta e seguir em linha recta devido a sua inércia e devido às forças de atrito contrárias à tendência de escape.

$$v_{\text{máx}} = 3,14\sqrt{R(\mu + \text{tg}\theta)} \quad (13.05)$$

2.6. Cálculo da Velocidade Pré – Impacto, Aplicando a Teoria do Impacto Coaxial: Método de Duff.

Esta teoria combina com as leis de Newton com PCQM e PCE, baseando-se nos três factores a ter em conta num impacto coaxial sem forças externas, Vives et al. (1991):

- a) *Velocidade de aproximação ($v_{\text{aprox.}}$)* – A velocidade a que se aproximam os veículos entre si. Este factor que a intensidade de colisão I_c está directamente relacionada com as velocidades relativas entre si e com as velocidades reais a que circulavam.

$$v_{aprox.} = \sqrt{\left(\frac{2}{M} \cdot E_{dtotal} + v_{sep}^2\right)} \quad (14.01)$$

b) *Massa efectiva ou equivalente (M)* - este factor mostra que a intensidade da colisão I_c se deve a uma combinação das massas dos veículos.

$$M = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad (14.02)$$

$$I_c = (1 + \varepsilon) \cdot M \cdot v_{aprox.} \quad (14.03)$$

c) *Aspectos estruturais* - Expresso mediante o conceito de coeficiente de restituição que não é nada mais o quociente entre a velocidade relativa de afastamento ($v_{sep.}$) e a velocidade relativa de aproximação ($v_{aprox.}$), cujo valor oscila entre zero (0) quando não há absorção completa da energia e um (1) quando a energia é totalmente absorvida. Na investigação de colisão de veículos é geralmente aceite que o coeficiente de restituição tende para zero aumentando com a intensidade da colisão. Para a maioria das colisões, quando as velocidades de circulação são superiores à $50 \frac{Km}{h}$ o coeficiente de restituição situa-se entre 0 a 0,3.

$$\varepsilon = \frac{v_{sep.}}{v_{aprox.}} \quad (14.04)$$

$$v_{sep.} = v_{f_1} - v_{f_2} \quad (14.05)$$

2.7. A Causa Determinante nos Acidentes de Trânsito

Para este trabalho de licenciatura vai abordar factos relacionados com a *percepção e reacção*, e de *comportamento humano* de modo a serem tratados de forma única como características do ser humano. A análise dos factores que influenciam na definição da causa determinante do acidente deve ser feita de tal modo que seja contemplada a avaliação de todos os agentes presentes no acidente de trânsito.

2.7.1. Factores Humanos

2.7.1.1. Percepção e Reacção

Segundo Almeida (2011), os factores que estão relacionados aos condutores dos veículos em função à percepção e reacção são:

a) **Percepção e Reacção Tardia** – a causa determinante se define pela existência de materialização de reacção (marcas de travagem, desvios de direcção, etc.), confirmando que o condutor percebeu o acidente iminente e reagiu produzindo acção na tentativa de evitar o acidente. No entanto, devido ao tempo entre a percepção e a efectiva reacção não houve condições de evitar o acidente. Conforme o tipo de colisão, a percepção/reacção tardia deve ser analisada de modo a se considerar todas as variáveis constantes da problemática de cada caso.

b) **Ausência de Percepção/Reacção** – A ausência de reacção é caracterizada pela ausência de vestígios que comprovem a materialidade da reacção produzida pelo condutor do veículo colidente. Ainda que o condutor tenha reagido, mas essa reacção não tinha se materializado na forma de travagens, desvios de direcção, entre outros exemplos de reacção, no leito da pista ou no próprio veículo, não há elementos para afirmar-se houve ou não percepção e/ou reacção.

c) **Solução inadequada** – A percepção ocorreu, a reacção se efectivou a seguir, mas devido os resultados decorrentes dessa solução o acidente veio a ocorrer. O condutor diante de uma situação de perigo, de próximo embate, surge a colisão próximo e reage antes de ocorrer a colisão, conforme as condições iniciais. No entanto, devido a essa solução diante de a possibilidade do acidente, ainda assim ocorre a colisão. Ocorre a colisão não da mesma forma como ocorreria num primeiro momento, mas mesmo como a solução buscada pelo condutor para evitar o acidente, a colisão ocorre. Trata-se de causa determinante de difícil aplicabilidade. Elementos de subjectividade podem interferir na solução do problema, relacionados aos factores de causas circunstanciais, que devido à exiguidade de vestígios, como nesse caso, tornam difícil definir a causa determinante do acidente.

2.7.1.2. Comportamento Humano

Segundo Almeida (2011), os factores relacionados com o comportamento humano são:

a) **Comportamento ilegal** – Caracteriza-se por não cumprimento do código de estrada, tais como: invasão de faixa, desobediência à placa e semáforos ou sinais de trânsito, etc.

b) **Comportamento Perigoso** – Caracteriza por comportamento perigoso as manobras anormais e as condições mecânicas veículos.

c) *Comportamento incomum* – deve se a um comportamento que é considerado não comum e está associado ao tempo e o tipo de manobra feita pelo condutor. Também é necessário que a manobra além de ser uma manobra inadequada, inapropriada para o local de tráfego, também deva ser feita de forma repentina e inesperado, em lapso de tempo que impossibilite a reacção do veículo que estão em movimento próximo ao veículo, cujo condutor tenha um comportamento incomum.

2.7.2. Ponto de Percepção Possível Associado ao Condutor do Veículo

2.7.2.1. Ponto de Percepção Possível

A posição anterior ao sítio de colisão, na qual o veículo colidente se encontrava quando o condutor deste veículo se apercebeu do obstáculo denomina se *ponto de percepção Possível (PPP)*.

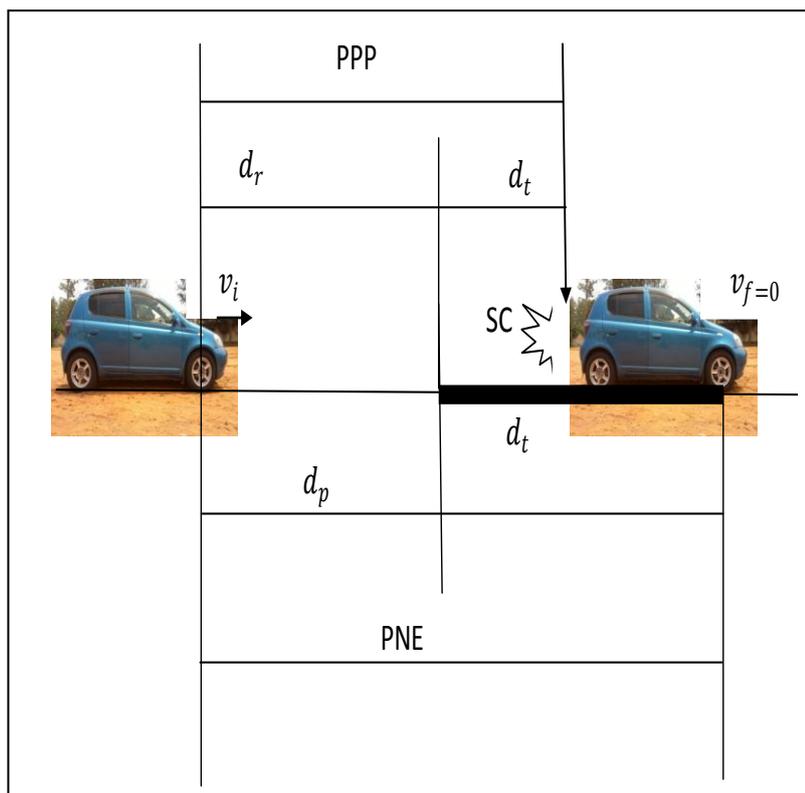


Figura 17: Ponto de percepção possível (PPP) e ponto de não escapada (PNE).

Para efeitos de cálculo relacionados de PPP – Ponto de percepção possível, uma vez que PPP se localiza anterior ao sítio de colisão, determina-se pela adição do trecho de travagem d_t anterior ao sítio da colisão e a distância remanescente d_r .

$$PPP = d_t + d_r \quad (15.01)$$

2.7.2.2. Ponto de Não Escapada – Espaço para Imobilizar o Veículo

O ponto na pista anterior ao sítio de colisão (*veja figura 17*), correspondente ao local a partir do qual o condutor de um veículo não consegue imobilizar o seu veículo, mesmo que tenha reagido e imprimido a este processo de desaceleração. *O ponto de não escapada* (PNE) corresponde à distância percorrida pelo veículo no intervalo de tempo de percepção/reacção, mais a distância percorrida em processo de travagem.

Para fazer estudos constantes dos exercícios, *durante o dia*, em via onde não há quaisquer outras interferências além do fluxo regular de veículos, admite-se condição de igualdade de visibilidade para ambos, condutor e pedestre. Dessa forma, define-se o tempo psicotécnico do evento esperado em condições externas favoráveis, no seu limite máximo e 1s “ $t_p = 1s$ ” (Almeida: 2011). *No período nocturno*, em vias com ou sem iluminação ou com condições precárias de iluminação ou em momentos de chuva durante o dia, admite-se condições externas adversas ao condutor do veículo colidente, caso seu veículo esteja em perfeitas condições de tráfego (sistema de iluminação e limpa pára-brisas em pleno funcionamento). Desta forma o tempo psicotécnico adoptado seria de $t_p = 1,5s$ (Almeida:2011).

Para cálculo da distância de travagem d_t , utiliza-se a equação de Torricelli (4.02 substituindo em 4.01), teremos

$$v_f^2 = v_i^2 - 2\mu g d_t \quad (15.02)$$

A velocidade final v_f na equação é a velocidade final do veículo, no momento em que é imobilizado. Portanto $v_f = 0$. Enquanto a velocidade inicial v_i na equação é a velocidade total do veículo v_t circulava antes da colisão. Substituindo os valores em (14.02) teremos:

$$0^2 = v_t^2 - 2\mu g d_t$$

$$d_t = \frac{v_t^2}{2\mu g} \quad (15.03)$$

Calcula-se a distância de percepção d_p pela equação de cálculo da velocidade;

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (15.04)$$

A velocidade v na equação (15.04) é a velocidade total v_t do veículo – anterior ao início da travagem.

Onde Δx corresponde à distância de percepção d_p e Δt corresponde ao tempo psicotécnico t_p .

Então:

$$v_t = \frac{d_p}{t_p} \quad (15.05)$$

Portanto o **PNE**, fica assim definido:

$$PNE = d_p + d_t \quad (15.06)$$

Quando maior PNE, maior será a vantagem do condutor colidir noutra veículo no momento de análise, na comparação com o PPP. Para evitar tal distorção, deve-se calcular o PNE da pista **PNE_p**. O Ponto de Não Escapada da Pista PNE_p é utilizada na comparação inicial entre PPP.

Caso a velocidade total do veículo seja menor ou igual à velocidade de placa (ou de pista), será utilizada no cálculo de PNE_p a velocidade total do veículo, portanto se $v_t \leq v_{placa}$, então se utiliza a velocidade total do veículo na determinação do PNE_p, considerando que o veículo desenvolve velocidade inferior ou igual à velocidade da placa.

Caso a velocidade total do veículo seja maior que a velocidade de placa, neste caso então, utiliza a velocidade de placa, por que neste caso recaímos em uma situação, onde devido ao excesso de velocidade dentro da análise final, o condutor do veículo colidente é beneficiado; se $v_t > v_{placa}$, então se utiliza a velocidade de placa para a determinação do PNE_p, para se evitar benefício ao condutor devido ao seu excesso de velocidade.

2.7.3. Fluxograma – Colisão Traseira

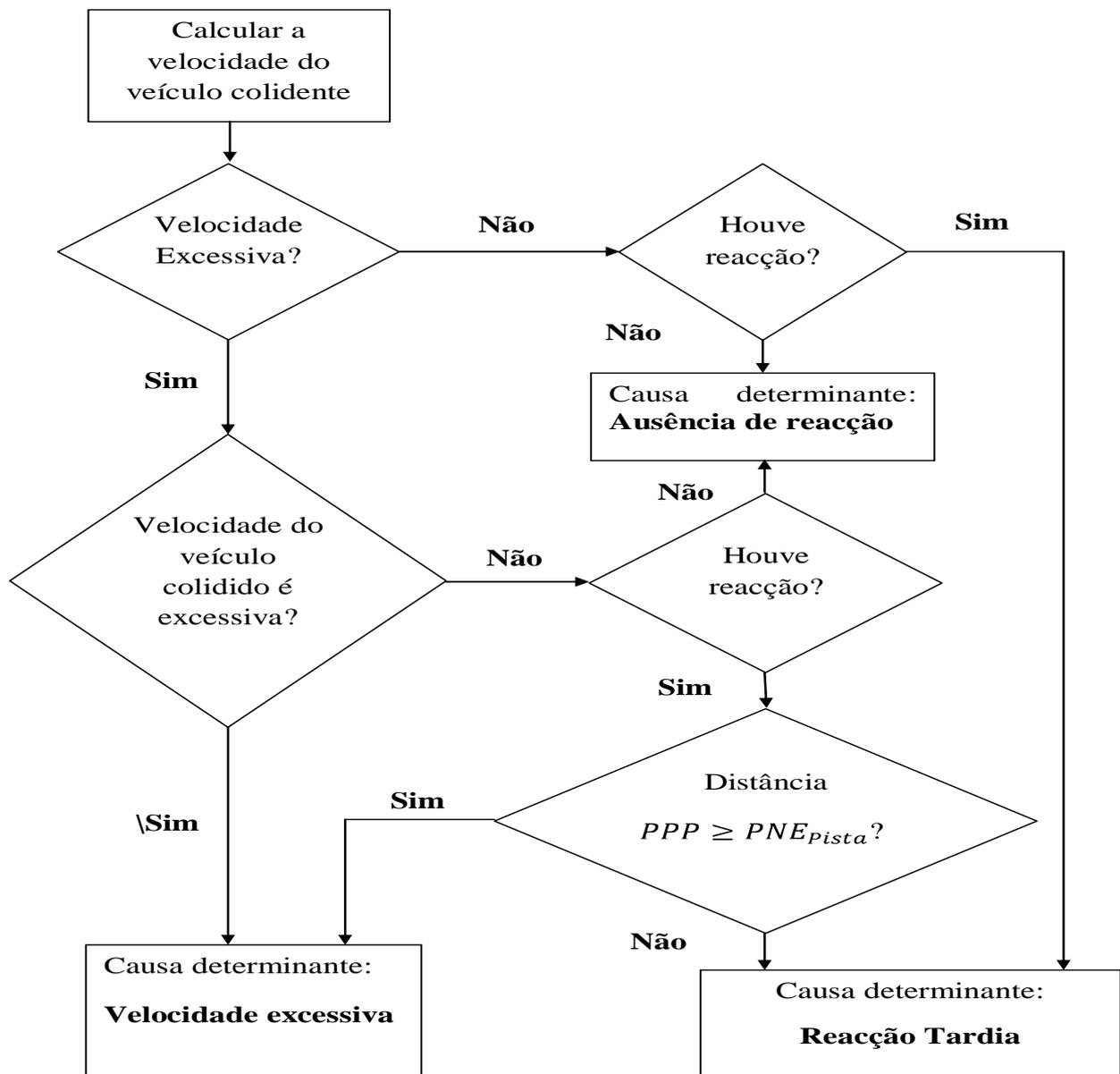


Figura 18: Fluxograma de colisão traseira (Almeida:2011).

CAPITULO 3 – Metodologia

3.1. Descrição da Metodologia

O presente trabalho consiste em:

- Pesquisa bibliográfica e
- Trabalho de Campo.

Para desenvolver este trabalho de licenciatura não fugiu das normas de um trabalho científico, em que a epistemologia está estreitamente ligada ao método e a metodologia a escolher. Neste, usou o método *indutivo* e *segundo* (Richardson:1999), “é um processo pelo qual, partindo de dados ou observações de particulares constatadas, podemos chegar a proposições gerais”. Enquanto a metodologia usada para procedimentos técnicos de estudo do objecto, é de *estudo de caso do tipo múltiplo*, de natureza *quantitativa* em física com base na medição de unidades fundamentais e de modo mais abrangente *qualitativa*, com uma base empírica, focada na descrição, interpretação e análise, pretendendo-se pesquisar algum aspecto considerado importante como o excesso de velocidade ou velocidade excessiva/inadequado como causa de acidentes de trânsito. A medição é uma operação básica para o desenvolvimento da descrição quantitativa em física (Utui:1992), enquanto a pesquisa qualitativa pode ser caracterizada como a tentativa de compreensão detalhada dos significados e características situacionais apresentados (Richardson:1999). Toda essa metodologia é para usar-se *método de análise de dados*, porque este trabalho não aborda soluções através dos programas computacionais, em virtude de que o objectivo não é mostrar a física de forma automatizada. Ao contrário, procura mostrar a essência da física presente nos acidentes de trânsito testando as leis ou princípios. Segundo (Yin:2001), este procedimento tem com a finalidade: empíricos que se relaciona ao levantamento de dados empíricos para responder as perguntas deste trabalho de licenciatura, isto é, visa pesquisar eventos da vida real que não possam ser desvinculados de seu contexto mais amplo, através de replicações de um dado fenómeno. O objectivo desta metodologia é *explicativa*, pois, para além de se registar, analisar, classificar e interpretar os fenómenos, têm como preocupação central identificar seu factor determinante.

A estratégia de investigação através de estudo de caso, visa responder as formas de questões que se referem ao “*como e por que*” da investigação. É provável que estas questões estimulem na focalização dos acontecimentos do contemporâneo.

Como se referiu a metodologia para procedimentos técnicos de estudo do objecto é estudo de caso, e que se concretizou usando os instrumentos como a *pesquisa bibliográfica e trabalho de campo*.

Na pesquisa bibliográfica, consistiu na pesquisa bibliográfica de relatórios previamente existentes, livros ou manuais, revistas e artigos relacionados com a matéria, para além da informação que adquiriu na Internet. Tudo isto era para conferir o significado e a definição conceptual de cada variável e o seu enquadramento. A revisão bibliográfica é sempre útil para fazer comparações com outros casos semelhantes, buscar fundamentação teórica e também para reforçar a argumentação de quem está descrevendo o caso (Gil:1995).

Trabalho de Campo é um dos procedimentos técnicos adoptados para esse estudo, em que o investigador assume o papel de observador e explorador, colectando directamente os dados no local (campo) em que se deram ou surgiram os fenómenos (Gil:1995). Neste contexto, o trabalho de campo consistiu na recolha de dados através da *observação participativa, e análise de conteúdo*. A observação científica pode ser definida como uma técnica do acolhimento da realidade com base em acolhimento directo (Kuleshov:2007). Para recolha dos dados usou a fita métrica e corda. Com ajuda dos peritos de acidentes de trânsito com quem trabalhou durante a recolha dos dados coadjuvados com os conhecimentos adquiridos na cadeira de Técnica de medição em física, para construção desse estudo, escolheu um acidente de entre tantos que observou e participou na peritagem, foi a que aconteceu na Avenida Eduardo Mondlane. Tomando em conta as variáveis que pretendia, com ajuda da fita métrica mediu a distância de travagem antes da colisão; a distância de deslocamento após à colisão de cada veículo e os ângulos de saída depois da colisão foram determinadas através da relação trigonométrica de seno após de ter as distâncias dos lados do triângulo. Os dados recolhidos foram usadas para calcular a possível velocidade de cada veículo antes da colisão usando o conhecimento físico-matemático já descrito neste trabalho. Esta velocidade é que será utilizada como base para quem tem direito de aplicar a legislação em vigor para determinar a causa do acidente de trânsito.

3.2. Amostra

Consiste em seleccionar um subgrupo da população que, com base nas informações disponíveis, possa ser considerado representativo de toda a população” (Gil:1999). A amostra em estudo foi escolhido um dos vários acidentes de trânsito que ocorrem na cidade de Maputo, que presenciado no acto de perícia com os agentes da Policia de Trânsito durante o estágio, nos meses de Maio à Novembro de 2012. O acidente de trânsito rodoviário em referência ocorreu na Avenida Eduardo Mondlane, em que as duas viaturas estavam em movimento e seguiam a mesma direcção e sentido neste caso este ao oeste, tendo ocorrido precisamente após três metros do KFC, perto do Hospital Central de Maputo.

CAPITULO 4 – Análise e discussão Resultados da Pesquisa

Neste capítulo faz-se a descrição do caso, análise, discussão e interpretação do caso em estudo.

4.1. Descrição da Investigação (Estudo de um caso)

No dia 10 de Agosto de 2012, pelas 15h30min., presenciou-se na peritagem de um acidente de trânsito rodoviário que envolveu uma camioneta de marca ISUZU (V_1) e uma corola (V_2). O acidente de trânsito em referência ocorreu na Avenida Eduardo Mondlane, em que as duas viaturas estavam em trajectória rectilínea a mesma direcção e sentido este ao oeste. Este ocorreu precisamente após três metros do KFC, perto do Hospital Central de Maputo. O veículo V_1 colidiu na traseira do veículo V_2 , onde passaram a se deslocar separadamente até se estabelecer a posição de repouso final nas seguintes direcções e sentido: o veículo V_1 se deslocou direccionado $17,4^\circ$ para a direita por trecho de 10 m e o veículo V_2 se deslocou direccionado $23,5^\circ$ para a esquerda por trecho de 5 m . O veículo V_1 se deslocava atrás do V_2 e antes de se colidir travou por trecho de 5 m , dos quais, $3,7\text{ m}$ se localizava antes do sítio da colisão. A massa do veículo V_1 era $m_1 = 3500\text{ Kg}$ e o condutor estava sozinho e a carroçaria da viatura estava vazia, enquanto o veículo V_2 a sua massa era $m_2 = 1200\text{ Kg}$, que era conduzida por uma senhora. Determinou-se a velocidade dos veículos antes da colisão, uma vez que o asfalto estava seco, para além de que os pneus das duas viaturas estavam em bom estado.

4.2. Análise, Discussão e Interpretação dos Dados

Feita a descrição do caso em 4.1., segue a análise, discussão e interpretação dos dados, a parte pelo qual será demonstrada a física e o acidente de trânsito, aplicando o método Gráfico de Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, além de métodos quantitativo e qualitativo.

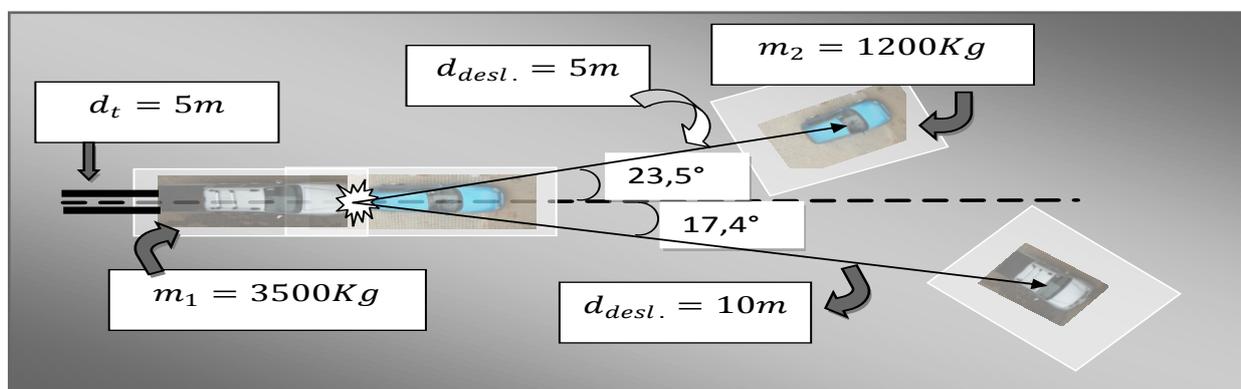


Figura 19. Colisão traseira entre duas viaturas que terminam separados.

Tabela 6: Dados do caso em estudo

Descrição dos Parâmetros	Veículo 1	Veículo 2
Distância de deslocamento depois da colisão	$d_{desl} = 10m$	$d_{desl} = 5m$
Distância de Travagem	$d_t = 5 m$	$d_t = 0 m$
Ângulo de Saída	$\theta = 17,45^\circ$	$\theta = 23,57^\circ$
Massa	$m = 3500Kg$	$m = 1200Kg$
Coeficiente de Atrito	$\mu = 0,70$	$\mu = 0,70$

1º Passo: Cálculo da velocidade final dos veículos V_1 e V_2 no trecho após a colisão.

Tabela 7: Cálculo da velocidade final dos veículos V_1 e V_2 no trecho após a colisão.

Veículo 1	Veículo 2
$v_{f_1} = \sqrt{2\mu g d_{desl}}$	$v_{f_2} = \sqrt{2\mu g d_{desl}}$
$v_{f_1} = \sqrt{2 \cdot 0,70 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 10m}$	$v_{f_2} = \sqrt{2 \cdot 0,70 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 5m}$
$v_{f_1} = 11,7 \frac{m}{s}$	$v_{f_2} = 8,3 \frac{m}{s}$
$v_{f_1} = 42,12 \frac{Km}{h}$	$v_{f_2} = 29,88 \frac{Km}{h}$

2º Passo: Cálculo da quantidade de movimento final dos veículos V_1 e V_2 .

Tabela 8: Cálculo da quantidade de movimento final dos veículos V_1 e V_2 .

Veículo 1	Veículo 2
$P_{f_1} = m_1 \cdot v_{f_1}$	$P_{f_2} = m_2 \cdot v_{f_2}$
$P_{f_1} = 3500Kg \cdot 11,7 \frac{m}{s}$	$P_{f_2} = 1200Kg \cdot 8,3 \frac{m}{s}$
$P_{f_1} = 40950Kg \frac{m}{s}$	$P_{f_2} = 9960Kg \frac{m}{s}$

3º Passo: Representação dos vectores P_{f1} e P_{f2} , conforme suas dimensões (intensidade), direcção e sentido, devendo estes ser colocados em fila – vide método da fila e determinação do vector quantidade de movimento resultante.

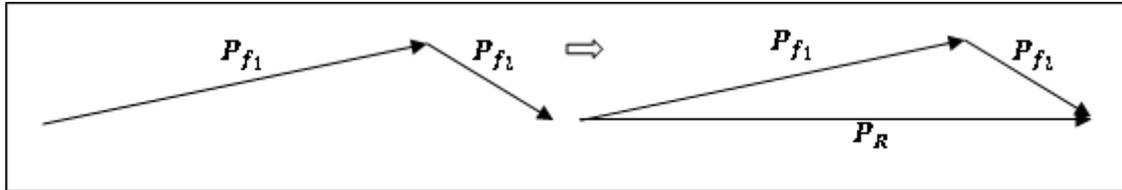


Figura 20: Representação da soma vectorial da quantidade de movimento.

4º Passo: Conhecido o vector quantidade de movimento resultante imediatamente após a colisão ($P_R = P_{final} = 47137Kg \frac{m}{s}$), passa-se ao estudo do momento da colisão.

Torna-se agora somente o vector quantidade de movimento resultante, com seu respectivo módulo, direcção e sentido e admite-se pelo PCQM que esse vector encontrado pós - colisão tem mesmas características do vector quantidade de movimento anterior ao momento da colisão, passa-se o 5º passo, que consiste na projecção dos vectores P_{f1} e P_{f2} sobre o vector resultante.

Deste modo sugere-se a seguinte solução:

5º Passo: cálculo da velocidade mínima do veículo colidente e velocidade máxima do veículo colidido.

- Projecta-se o vector quantidade de movimento final do veículo colidente (V_1) sobre o vector quantidade de movimento resultante;
- Da mesma forma se faz com o vector quantidade de movimento final do veículo que recebe o impacto (V_2 colidido).

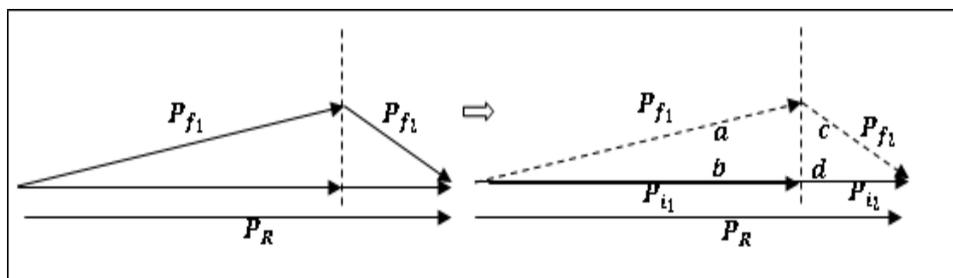


Figura 21: Representação da projecção vectorial de quantidade de movimento.

A soma vectorial da quantidade de movimento dos dois veículos não pode exercer à quantidade de movimento resultante que se conserva. Desse modo pode-se estimar a velocidade do veículo V_1 colidente e V_2 colidido por essas projecções como mostra a *figura 21 e a tabela 9*. Admite-se uma mínima velocidade antes da colisão para o veículo V_1 e máxima velocidade para o veículo V_2 , conforme projecções dos vectores P_{i_1} e P_{i_2} .

Tabela 9: Cálculo da velocidade mínima de V_1 e velocidade máxima de V_2 .

Veículo 1 – Velocidade Mínima	Veículo 2 – Velocidade Máxima
$P_{i_1} = m_1 \cdot v_{i_1}$	$P_{i_2} = m_2 \cdot v_{i_2}$
$v_{i_1} = \frac{P_{i_1}}{m_1}$	$v_{i_2} = \frac{P_{i_2}}{m_2}$
$v_{i_1} = \frac{39312Kg \frac{m}{s}}{3500Kg}$	$v_{i_2} = \frac{7825Kg \frac{m}{s}}{1200Kg}$
$v_{i_1} = 11,23 \frac{m}{s} = 40,43 \frac{Km}{h}$	$v_{i_2} = 6,52 \frac{m}{s} = 23,47 \frac{Km}{h}$

- Mesmo com essa operação, ainda devemos fazer uma segunda verificação, uma vez que se houve colisão traseira é que o veículo que colidiu atrás certamente tem velocidade maior que o veículo que se encontra à frente. Então, considera-se a seguinte soma de vectores:

$$P_{i_1} + P_{i_2} = P_R$$

$$m_1 \cdot v_{i_1} + m_2 \cdot v_{i_2} = P_R$$

Sendo $v_{i_1} = v_{i_2} = v$, ou seja, considere que a menor velocidade possível para o veículo V_1 deve ser a mesma velocidade de V_2 .

$$m_1 \cdot v + m_2 \cdot v = P_{R_i}$$

$$(m_1 + m_2)v = P_{R_i}$$

$$(3500Kg + 1200Kg)v = 47137Kg \frac{m}{s}$$

$$v = \frac{47137Kg \frac{m}{s}}{4700Kg}$$

$$v = 10,03 \frac{m}{s}$$

$$v = 36,108 \frac{Km}{h}$$

Podemos então concluir que das suas velocidades possíveis para o veículo V_1 que colidiu atrás ($11,23 \frac{m}{s}$ ou $10,03 \frac{m}{s}$), a que deve ser escolhida é aquela que apresenta o maior valor, então ($v_{i_1} = 11,23 \frac{m}{s} = 40,43 \frac{Km}{h}$ e $v_{i_2} = 6,52 \frac{m}{s} = 23,47 \frac{Km}{h}$), ou seja:

Veículo 1 – Velocidade Mínima	Veículo 2 – Velocidade Máxima
$v_{i_1(min)} = 11,23 \frac{m}{s} = 40,43 \frac{Km}{h}$	$v_{i_2(max)} = 6,52 \frac{m}{s} = 23,47 \frac{Km}{h}$

6º Passo: Cálculo da velocidade máxima do veículo colidente e velocidade mínima do veículo colidido.

Admite-se que a velocidade do veículo colidido é zero, ou seja, o veículo colidente V_1 atingiu o veículo V_1 quando este estava parado, ($P_{i_2} = 0$). Neste caso a quantidade de movimento resultante P_{R_i} é completamente atribuída ao veículo V_1 colidente, isto é, $P_{R_i} = P_{i_1}$.
Veja a tabela 10.

Tabela 10: Cálculo da velocidade máxima do veículo colidente e velocidade mínima do veículo colidido.

Veículo 1 – Velocidade Máxima	Veículo 2 – Velocidade Mínima
$P_{i_1} = m_1 \cdot v_{i_1}$	$P_{i_2} = m_2 \cdot v_{i_2}$
$v_{i_1} = \frac{P_{i_1}}{m_1}$	$v_{i_2} = \frac{P_{i_2}}{m_2}$
$v_{i_1} = \frac{47137Kg \frac{m}{s}}{3500Kg} = 13,5 \frac{m}{s} = 48,6 \frac{Km}{h}$	$v_{i_2} = \frac{0 \frac{m}{s}}{1200Kg} = 0 \frac{m}{s} = 0 \frac{Km}{h}$

7º Passo: Determina-se então a velocidade no instante da colisão, como sendo a média entre as velocidades mínima e máxima de cada veículo. *Vide tabela 11.*

Tabela 11: Cálculo da velocidade no instante da colisão de cada veículo.

Veículo 1	Veículo 2
$v_{1(ic)} = \frac{v_{1(min)} + v_{1(max)}}{2}$	$v_{2(ic)} = \frac{v_{2(min)} + v_{2(max)}}{2}$
$v_{1(ic)} = \frac{11,23 \frac{m}{s} + 13,5 \frac{m}{s}}{2}$	$v_{2(ic)} = \frac{0 \frac{m}{s} + 6,52 \frac{m}{s}}{2}$
$v_{1(ic)} = 12,4 \frac{m}{s} = 44,6 \frac{Km}{h}$	$v_{2(ic)} = 3,3 \frac{m}{s} = 11,9 \frac{Km}{h}$

8º Passo: Como somente o veículo V_1 possui marcas de travagem antes da colisão, passa-se ao incremento dessa parcela de energia à velocidade no instante da colisão determinada na *tabela 11*, para se determinar a velocidade total de cada veículo quando do início da colisão.

Tabela 12: Cálculo da velocidade total de cada veículo quando do início da colisão.

Veículo 1	Veículo 2
$v_{1t} = \sqrt{v_{1(ic)}^2 + 2\mu g d_t}$	$v_{2t} = \sqrt{v_{2(ic)}^2 + 2\mu g d_t}$
$v_{1t} = \sqrt{(12,4 \frac{m}{s})^2 + 2.0,70.9,81 \frac{m}{s^2} 5m}$	$v_{2t} = \sqrt{(3,3 \frac{m}{s})^2 + 2.0,70.9,81 \frac{m}{s^2} 0m}$
$v_{1t} = 14,9 \frac{m}{s}$	$v_{2t} = 3,3 \frac{m}{s}$
$v_{1t} = 53,6 \frac{Km}{h}$	$v_{2t} = 11,9 \frac{Km}{h}$

9º Passo: Energia dissipada devido aos danos decorrentes da colisão é determinada da seguinte forma: calcula-se a energia imediatamente antes da colisão de cada veículo, a seguir calcula-se a energia imediatamente após a colisão de cada veículo e a diferença das energias corresponde à energia de dano que possibilita a determinação da velocidade de dano de cada veículo, veja *tabela 13*.

Tabela 13: Cálculo da velocidade de danos de cada veículo.

Trecho Percorrido	Fórmula	Veículo 1	Veículo 2
Energia imediatamente antes da colisão	$E_i = \frac{m \cdot v_{ic}^2}{2}$	$E_i = \frac{3500Kg \cdot (12,4 \frac{m}{s})^2}{2}$ $E_i = 269080J$	$E_i = \frac{1200Kg \cdot (3,3 \frac{m}{s})^2}{2}$ $E_i = 6534J$
Energia imediatamente após a colisão	$E_f = \frac{m \cdot v_f^2}{2}$	$E_f = \frac{3500Kg \cdot (11,7 \frac{m}{s})^2}{2}$ $E_f = 239557,5J$	$E_f = \frac{1200Kg \cdot (8,3 \frac{m}{s})^2}{2}$ $E_f = 41334J$
Diferença de energia decorre dos danos	$E_d = E_i - E_f$	$E_d = 269080J - 239557,5J$ $E_d = 29522,5J$	$E_d = 6534J - 41334J$ $E_d = -34800J$
Velocidade de danos equivalente	$v_d = \sqrt{\frac{2E_d}{m}}$	$v_d = \sqrt{\frac{2 \cdot 29522,5J}{3500Kg}}$ $v_d = 4,10 \frac{m}{s}$ $v_d = 14,76 \frac{Km}{h}$	$v_d = \sqrt{\frac{2 \cdot -34800J }{1200Kg}}$ $v_d = -7,61 \frac{m}{s}$ $v_d = -27,39 \frac{Km}{h}$

A energia dissipada na coluna do veículo V_2 resultou negativa por que os danos decorrentes da colisão do tipo traseira devem ser atribuídos ao veículo que atinge a traseira, ou seja, a energia deve ser atribuída ao veículo V_1 .

10º Passo: Resultado final da análise da velocidade pelo Princípio de Conservação de Quantidade de Movimento – método gráfico de Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento:

Tabela 14: Resumo final da análise da velocidade.

Trecho Percorrido	Veículo V_1	Veículo V_2
Velocidade total antes da colisão - v_t	$53,6 \frac{Km}{h} = 14,9 \frac{m}{s}$	$11,9 \frac{Km}{h} = 3,3 \frac{m}{s}$
Velocidade no instante da colisão - $v_{(ic)}$	$44,6 \frac{Km}{h} = 12,4 \frac{m}{s}$	$11,9 \frac{Km}{h} = 3,4 \frac{m}{s}$
Velocidade de danos - v_d	$14,76 \frac{Km}{h} = 4,1 \frac{m}{s}$	$-27,39 \frac{Km}{h} = -7,61 \frac{m}{s}$
Velocidade após a colisão - v_f	$42,12 \frac{Km}{h} = 11,7 \frac{m}{s}$	$29,88 \frac{Km}{h} = 8,3 \frac{m}{s}$

Calculadas as velocidades (veja tabela 14) urge a necessidade de determinar-se o coeficiente de restituição ϵ , como prova dos cálculos efectuados, calculando a provável velocidade com que as viaturas circulavam através das equações (14.01, 14.02, 14.03, 14.04 e 14.05).

$$M = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} = \frac{3500Kg \cdot 1200Kg}{3500Kg + 1200Kg} = \mathbf{893,6Kg}$$

$$v_{sep.} = v_{f_1} - v_{f_2} = 11,7 \frac{m}{s} - 8,3 \frac{m}{s} = \mathbf{3,4 \frac{m}{s}}$$

$$E_{d_{total}} = E_{d_1} + E_{d_2} = 29522,5J + |-34800J| = \mathbf{64322,5J}$$

$$v_{aprox.} = v_{1(ic)} = \sqrt{\left(\frac{2}{M} \cdot E_{d_{total}} + v_{sep.}^2\right)} = \sqrt{\frac{2}{893,6Kg} \cdot 64322,5J + \left(3,4 \frac{m}{s}\right)^2} \\ = \mathbf{12,4 \frac{m}{s}}$$

$$\epsilon = \frac{v_{sep.}}{v_{aprox.}} = \frac{3,4 \frac{m}{s}}{12,4 \frac{m}{s}} = \mathbf{0,2}$$

$$I_c = (1 + \epsilon) \cdot M \cdot v_{aprox.} = (1 + 0,2) \cdot 893,6Kg \cdot 12,4 \frac{m}{s} = \mathbf{11081,8Kg \frac{m}{s}}$$

$$\Delta v_1 = \frac{I_c}{m_1} = \frac{11081,8Kg \frac{m}{s}}{3500Kg} = \mathbf{3,1 \frac{m}{s}}$$

$$\Delta v_2 = \frac{I_c}{m_2} = \frac{11081,8Kg \frac{m}{s}}{1200Kg} = \mathbf{9,2 \frac{m}{s}}$$

$$\Delta v_1 = |v_{f_1} - v_{1_t}|$$

$$v_{f_1} = \Delta v_1 + v_{1_t} = 3,1 \frac{m}{s} + 14,9 \frac{m}{s} = 18 \frac{m}{s} = 64,8 \frac{Km}{h}$$

$$\Delta v_2 = \frac{I_c}{m_2} = \frac{11081,8Kg \frac{m}{s}}{1200Kg} = 9,2 \frac{m}{s}$$

$$\Delta v_2 = |v_{f_2} - v_{2_t}|$$

$$v_{f_2} = \Delta v_2 + v_{2_t} = 9,2 \frac{m}{s} + 3,3 \frac{m}{s} = 12,5 \frac{m}{s} = 45 \frac{Km}{h}$$

Assim e segundo a presente hipótese antes da colisão o veículo de marca ISUZU (V_1) circulava a uma velocidade (v_{f_1}) de cerca de $64,8 \frac{Km}{h} \pm 10$, enquanto veículo de marca Corola (V_2) circulava a uma velocidade (v_{f_2}) de cerca de $45 \frac{Km}{h} \pm 10$.

4.3. Análise da Causa Determinante da Colisão Traseira Entre os Dois Veículos.

1º Passo: Depois de ter calculado a velocidade que cada veículo circulava antes da colisão, as hipóteses foram definidas como:

$$\text{Velocidade do veículo colidente: } v_{f_1} = 18 \frac{m}{s} = 64,8 \frac{Km}{h}$$

$$\text{Velocidade do veículo colidido: } v_{f_2} = 12,5 \frac{m}{s} = 45 \frac{Km}{h}$$

2º Passo: A velocidade do veículo colidente é excessiva enquanto do veículo colidido não excessiva, então passa-se a análise das causas relacionadas à percepção/Reacção.

3º Passo: Houve reacção do condutor do veículo colidente? **Resposta:** *Sim*, materializada por marcas de travagem.

4º Passo: Cálculo de PPP- Ponto de Percepção Possível através das equações (14.04 e 14.05).

Adopte tempo psicotécnico $t_p = 1s$

$$d_p = v_t \cdot t_p ; d_p = 18 \frac{m}{s} \cdot 1s = 18m$$

$$PPP = d_p + d_t = 18m + 3,7m = 21,7m$$

5º Passo: Cálculo de PNE_p - ponto de não escapada da pista através das equações (15.03, 15.05 e 15.06). Na pista ou avenida em referencia neste trabalho não tem placa da velocidade regulamentar da via, para tal recorreu-se ao Decreto n.º.1/2011 de 23 de Março, a velocidade limite nas localidades é $60 \frac{Km}{h} = 16,6 \frac{m}{s}$.

- Cálculo da distância de travagem a $60 \frac{Km}{h} = 16,6 \frac{m}{s}$

$$d_t = \frac{v_t^2}{2\mu g} = \frac{(16,6 \frac{m}{s})^2}{2 \cdot 0,70 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = \mathbf{20,06m}$$

- Cálculo da distância de percepção d_p , com tempo de percepção $t_p = 1s$

$$d_p = v_t \cdot t_p = 16,6 \frac{m}{s} \cdot 1s = \mathbf{16,6m}$$

- Cálculo do PNE da pista (PNE_p)

$$PNE_p = d_p + d_t = 16,6m + 20,06m = \mathbf{36,6m}$$

6º Passo: A distância $PPP \geq PNE_p$?

Resposta: *Não*, neste caso $PPP = 21,7m$ e $PNE_p = 36,6m$

7º Passo: Portanto, a causa determinante se deve à reacção tardia do condutor do veículo colidente segundo o fluxograma da colisão traseira.

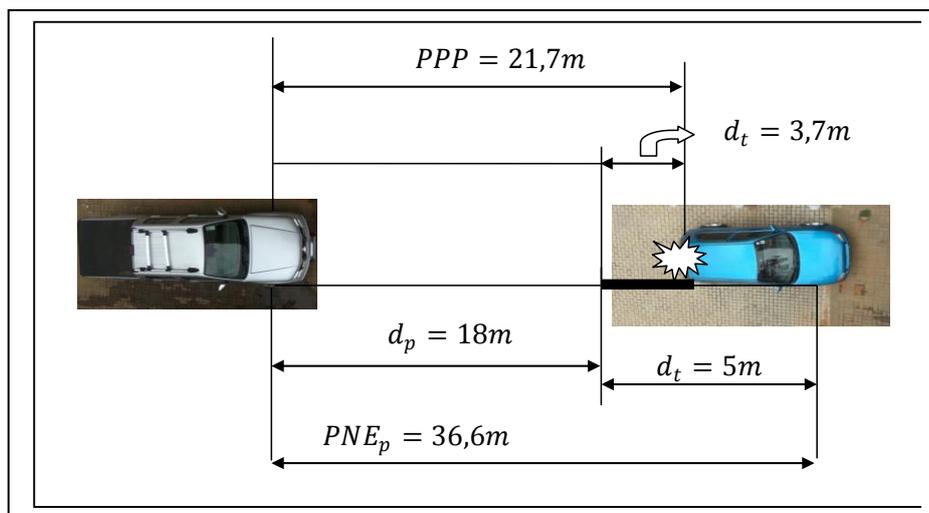


Figura 22: Esquema resumo da causa determinante do acidente de trânsito.

Capítulo 5 – Conclusões e recomendações

Neste capítulo faz-se a conclusão do estudo feito e as recomendações que poderão ajudar aos profissionais que realizam peritagem do acidente de trânsito a elaborarem autos de peritagem com muita clareza, de modo a facilitarem os que tem o poder judiciário a aplicar a legislação com muita justiça.

5.1. Conclusões

Em forma de conclusão deste trabalho de licenciatura, de uma forma geral demonstrou as principais características dos acidentes e um pouco de como são realizadas os cálculos periciais nos acidentes de trânsito. Nas diversas modalidades de ocorrência de trânsito aqui narradas, verifica-se a presença marcante da física e, que cada acidente de trânsito rodoviário exige um alto conhecimento físico-matemático porque cada caso específico depende de diversos factores, para além de que existem algumas propriedades físicas que são comuns a todos.

Também nota-se que sem o conhecimento físico-matemático dificilmente as causas de um acidente de trânsito podem ser esclarecidas com justeza. Isto é, a investigação de um acidente de trânsito, passa por três fases: *perícia criminal; física e o acidente de trânsito e a causa determinante nos acidentes de trânsito*, onde a segunda fase é fundamental ou elo de ligação em relação as restantes fases, pôs é demonstrado o tratamento físico-matemáticos dos dados recolhidos no local de acidente de trânsito, facilitando assim na reconstrução, na análise e na prevenção do acidente de trânsito.

O caso em estudo mostrou que o veículo colidente V_1 circulava com excessivo de velocidade em relação ao veículo colidido V_2 , pôs verifica-se que houve reacção por parte do condutor do veículo colidente, que materializou-se por marcas de travagem. O condutor do veículo colidente não deixou espaço suficiente para que se evitasse o acidente porque não verificou-se a condição $PPP \geq PNE_p$, logo a causas determinantes do acidente é atribuída ao condutor do veículo colidente por *reacção tardia e comportamento ilegal*. Pois o local onde ocorreu acidente de trânsito é próximo da paragem de transportes de passageiros que está oposto ao Hospital central de Maputo, apesar de não ter placa que regulamenta a velocidade limite o condutor do veículo colidente transgrediu a velocidade limite plasmado no código de estrada.

5.2. Recomendações

Que se aplique ou se incorpore o tratamento físico-matemático nos autos de peritagem de acidente de trânsito, para deixar clara a ocorrência ou o auto do acidente de trânsito. Isto facilita a quem de direito aplicar a legislação em vigor no país ou fazer a reconstrução do acidente de trânsito com muita fiabilidade, evitando assim dar culpabilidade um em detrimento do outro por presunção sem que tenha demonstrado os cálculos.

Deve – se promover o ensino de física nas instituições de ensino da Polícia da República de Moçambique em especial para os seguem a especialidade de Polícia de Trânsito bem como os da Polícia de Investigação Criminal, de modo a enfatizar a compreensão qualitativa de conceitos e a respectiva aplicação em situações concretas utilizando o tratamento físico-matemático e não a memorização de fórmulas ou presunção.

O ensino de física nestas instituições, deve ser planificado de forma que o conhecimento dos profissionais que realizam peritagem em acidente de trânsito ou qualquer investigação criminal (exemplo a balística) possa crescer de forma lógica e ordenada, tornando-se mais profundo, e não apenas mais extenso a cada passo e sensibilizar os profissionais para a relação entre o saber teórico e a actividade prática.

Dado que este estudo não inclui todos tipos de acidentes de trânsito rodoviário, recomenda-se que os próximos estudos incluam outros tipos de acidentes que no presente trabalho não foram incluídas.

Referências Bibliográficas

1. Almeida, L. L. (2011). *Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito*. Millennium Editora Ltda. Campinas, SP.
2. Alonso, M. ; FINN, E. J. (1992). *Física*. São Paulo: Addison-Wesley.
3. Aragão, R. F. (2003). *Acidentes de Trânsito: aspectos técnicos e jurídicos*. 3ª ed. Campinas: Millenium. Recuperado em 29 de Novembro de 2011. Disponível em <http://www.fisicajp.net/tccs/2008/tccadilson.pdf>
4. Carvalho, A. D. (Ed.). (1992). *Novas metodologias em educação*. Porto Editora. Porto.
5. Decreto nº. 1/2011 DE 23 de Março.
6. Enciclopédia dos conhecimentos Oceânicos, Adaptado ao Ensino Secundário. *Física, Teoria de Campo e Física Nuclear*. Vol.8. Editora Oceano Grupo SA. Lisboa.
7. Gil A.C. (1995). *Como elaborar projectos e pesquisa*. 3ª ed. São Paulo: Atlas.
8. Gil, A.C. (1999). *Métodos e Técnicas de pesquisa social*. 5ª Edição. São Paulo. Editora Atlas S.A. Brasil.
9. Halliday, D. ; Resnick, R. e Walker, J. (2006). *Fundamentos de Física: Mecânica*. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC.
10. Índias, M. A. C. (1992). *Curso de Física*. Editora McGRAW-HILL. Portugal, Lda.
11. Kuleshov, V. (2007). *Metodologia de Ensino de Física Escolar, Questões Gerais*. Maputo.
12. Richardson, R.J. (Org.). (1999). *Pesquisa Social: Métodos e Técnicas*. 3ª Edição. São Paulo. Editora Atlas S.A. Brasil.
13. Tripler, P. A. (1994). *Física para cientistas engenheiros – mecânica*. Volume 1. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Guanaba Koogan S.A.
14. Triples, P. A. (2006). *Mecânica, oscilações, e Ondas Termodinâmica*. 5ª Edição. vol.1. Editorial GEN/LTC.
15. Utui, R. (1992). *Manual de Métodos de Física Experimental – Introdução*.
16. Vives, J.B. ; Garcia, P.A. e Piedrafia, J.B.M.R. (1991). *Manual de Investigación de Accidentes de Tráfico” da Academia de Tráfeco da Guarda Civil*. Editado pela Dirrección General de Tráfico.
17. Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Trad. Daniel Grassi. 2ª Edição. Porto Alegre: Bookman.

Anexos



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE

MINISTÉRIO DO INTERIOR
COMANDO DA PRM-CIDADE DE MAPUTO
DIRECÇÃO DE PESSOAL E FORMAÇÃO



N/ Ref. N°... 13/02-06/DPF-CM/2012

DATA: 02.05.2012

ASSUNTO: CREDENCIAL

*Está devidamente credenciado o senhor **Bito da Silva Manuel Sixpence**, estudante finalista do Curso de Física na Universidade Eduardo Mondlane (UEM), a fim de realizar trabalho de pesquisa, no Departamento da Policia de Trânsito do Comando da PRM-Cidade junto à 5ª Esquadra, sobre o tema "Aplicação da Física na Investigação de Acidente de Trânsito Rodoviário" durante um período de 06 (Seis) meses, com inicio no dia 04 de Maio do corrente ano.*

Cordiais Saudações.



O DIRECTOR DE PESSOAL E FORMAÇÃO

Dr. Carlos Chequela
(Adjunto de Superintendente da Policia)





UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Para: Departamento Nacional da Polícia de Trânsito
De: Departamento de Física

Assunto: **Pedido de Dados**

Sobre assunto em epígrafe, informamos á V.Exc^a. que o estudante **Bito da Silva Manuel Sixpence**, do curso de licenciatura em Física, Ramo Educacional neste Departamento, estando a preparar o seu trabalho de licenciatura, subordinado ao tema “Aplicação da Física na investigação de acidentes de trânsito rodoviário”, solicita trabalho de campo para recolha de dados sobre os parâmetros Físicos: Distância antes e depois da colisão de veículos; ângulos de entrada e saída dos veículos na colisão e o peso dos veículos envolvidos na colisão. Esses parâmetros serão necessários para calcular a possível velocidade dos veículos envolvidos na colisão

Com os nossos melhores cumprimentos

Maputo, aos 05 de Abril de 2012

O Chefe de Departamento

(Prof. Dr. Adriano R. Sacate)

UNIVERSIDADE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

ARS/jsn

Exmo Senhor Chefe do Departamento Nacional da Policia de Trânsito

Maputo

Bito da Silva Manuel Sixpence, Guarda da Policia em serviço no Comando da Força de Intervenção Rápida – Sede, estudante finalista na Universidade Eduardo Mondlane a frequentar o curso de *Física*, estando a preparar o seu trabalho de licenciatura de culminação de curso sob o tema “**APLICAÇÃO DA FÍSICA NA INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTE DE TRÂNSITO RODOVIÁRIO**”. Deseja conciliar o conhecimento adquirido durante a sua formação dentro da sua instituição onde a sua aplicabilidade é na área de peritagem de casos de acidentes de trânsito.

Já tem um supervisor por sinal um docente seu e é chefe do Departamento de Física da UEM, o Professor Doutor *Adriano Rafael Sacate*. Para tal achou melhor fazer parte mais um académico que fez a área de peritagem de acidente de trânsito dessa instituição para ser seu co-supervisor, isto é, ter alguém da sua instituição que vai lhe dar acompanhamento no trabalho de campo, junto dos colegas que já estão no terreno. O trabalho de campo será feito em forma de estágio num período de três meses e em simultâneo vai recolhendo os dados que sustentarão o seu trabalho de licenciatura.

Neste contexto, e após o encontro que teve com senhor chefe no seu gabinete de trabalho no dia 21.02.2012, tendo lhe dado a recomendação de fazer por escrito o seu pedido, vem através deste rogar à V.Excia se digne autorizar a designação de um quadro superior formado nesta área ou com conhecimentos similares para lhe dar o acompanhamento do seu trabalho, pelo que;

Pede Deferimento
Maputo, 06 de Abril de 2012

Bito Sixpence

Anexos:

- Cópia de cartão profissional
- Credencial
- bitosixpence@yahoo.com.br / bitosixpence@gmail.com
- 827849610 / 844799721

