

PEDRO HENRIQUE GARCIA GOMES
ANTONIO PEREIRA ARANTES NETO

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE COLISÃO EM SINISTROS DE TRÂNSITO

Trabalho de Perícia

Goiânia/GO
2021

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE COLISÃO EM SINISTROS DE TRÂNSITO

RESUMO

O excesso de velocidade figura entre os fatores que mais levam a mortes em estradas federais brasileiras, superando, inclusive, à “ingestão de álcool”. Neste cenário, torna-se importante ao avaliador pericial, o conhecimento de técnicas para a estimativa da velocidade de colisão dos veículos em sinistros de trânsito. Este trabalho apresenta análise técnica pericial de cálculo de velocidade pré-colisão de automóveis. A determinação da velocidade de impacto utiliza os princípios da mecânica clássica e de deformação e aborda conceitos de impulso, conservação de energia e deformação de Campbell. Descrita a metodologia, aplicou-se em dois casos reais, nos quais a investigação pericial do veículo e do local do sinistro permitiu o entendimento prático da aplicação destes conhecimentos físicos.

PALAVRAS-CHAVE: *Velocidade de colisão; Sinistro de trânsito; Deformação de Campbell; Conservação de energia; Perícia em veículos.*

1. Introdução

Ultrapassar o limite de velocidade permitido é apontado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como uma das principais causas de acidentes do mundo. WHO (2021) afirma que 1,3 milhões de pessoas perderam a vida em colisões de trânsito em 2021, sendo esta a principal causa morte de pessoas entre 5 e 29 anos.

De acordo com o balanço da PRF (2020), o excesso de velocidade figurou como o terceiro fator que mais levou a mortes em estradas federais, superando inclusive à “ingestão de álcool”. Em 2020, 5.878 acidentes e 712 mortes foram atribuídas como agente causador a “velocidade incompatível”.

Neste cenário, torna-se importante ao avaliador pericial, o conhecimento de técnicas para a estimativa da velocidade dos veículos em sinistros de trânsito.

O objetivo deste estudo é apresentar uma forma de analisar um sinistro veicular a fim de determinar sua velocidade de colisão através do estudo de documentos, ferramentas da física mecânica, métodos matemáticos e análise por meio de mecânica da deformação. O estudo compreenderá a análise de boletins de ocorrência, relato de testemunhas, fotos, visita ao local do sinistro de forma a completar a análise física.

A velocidade de impacto principal do veículo é calculada em três fases: pré, durante e pós impacto.

1.1 Período pré impacto

Outro ponto para análise da velocidade de impacto é considerar posicionamento dinâmico do veículo antes de colidir com algum objeto, é possível que haja marcas de frenagem, indicando a tentativa de desaceleração do veículo, que poderiam ser utilizadas para a realização de cálculo de velocidade de desaceleração. Pequenas colisões, tipo de superfície de rolamento e direção do veículo podem influenciar no cálculo desta velocidade final.

1.2 Período de impacto

A análise utiliza o Princípio do Trabalho e Energia, que a partir da determinação do deslocamento do centro de gravidade do automóvel desde o início da colisão com o objeto até a sua parada, determina o trabalho realizado pelas forças de atrito entre as rodas do veículo e o pavimento a energia cinética equivalente. Um cuidado especial deverá ser tomado na verificação do fato de observar se houve arrasto das rodas ou rolamento destas.

As colisões frontais e laterais de automóveis em objetos fixos dependem de algumas variáveis (TORESAN, 2010), que estão apresentadas pelo Quadro 1 e descritas graficamente nas Figura 1 e 2. Tratam-se de deformações em porções frontais e laterais do veículo.

Quadro 1 – Variáveis relacionadas às colisões frontais e laterais de veículos com barreira do tipo objeto.

CG	centro de gravidade
L	largura da área deformada
C_{MAX}	cota de máxima deformação
C_n e C_{gn}	cotas locais e globais de deformação medidas ao longo de "L"
PDOF	força de colisão com o objeto
d	distância entre a linha de ação da PDOF e a linha paralela que cruza o centro de gravidade do automóvel
$L_{pós}$	largura e comprimento do veículo pós-impacto

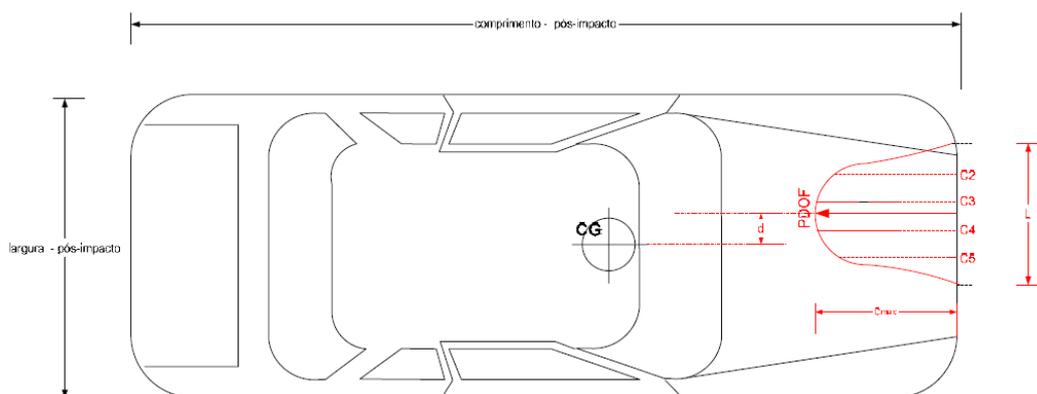


Figura 1 – Variáveis de impacto frontal.

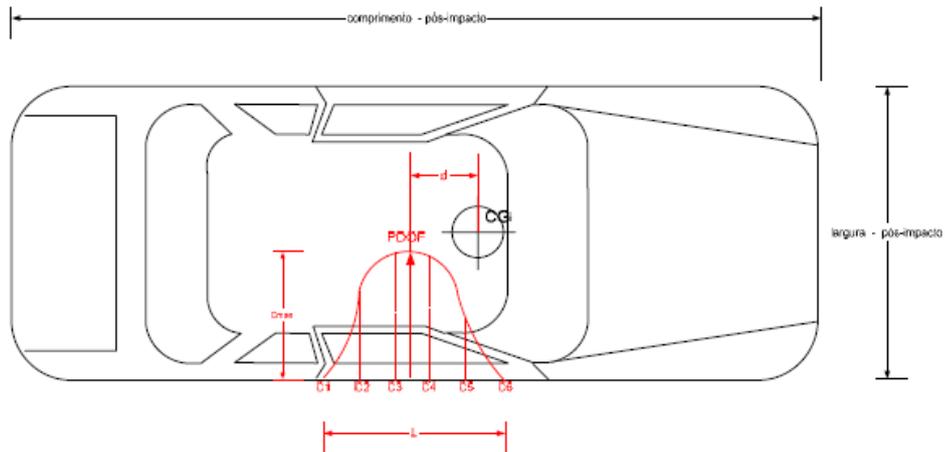


Figura 2 – Variáveis de impacto lateral.

O método escolhido para compreensão deste evento, foi o do **Método de Campbell**, que pode ser usado em colisões laterais e frontais. As equações estabelecem relações entre a velocidade de impacto de um automóvel e os valores de deformação (C_n) (Figura 3) da região colidida do veículo. Conforme Equação 1, a fórmula para cálculo da energia de esmagamento (**Cálculo da Energia de deformação (E_{def})**), é relacionada pelas áreas de danos, e coeficiente já pré-definidos:

$$E_T = \frac{L}{5} \left(\frac{Ax_1}{2} + \frac{B(x_2+x_3)}{6} + \frac{5A^2}{2B} \right) \quad (1)$$

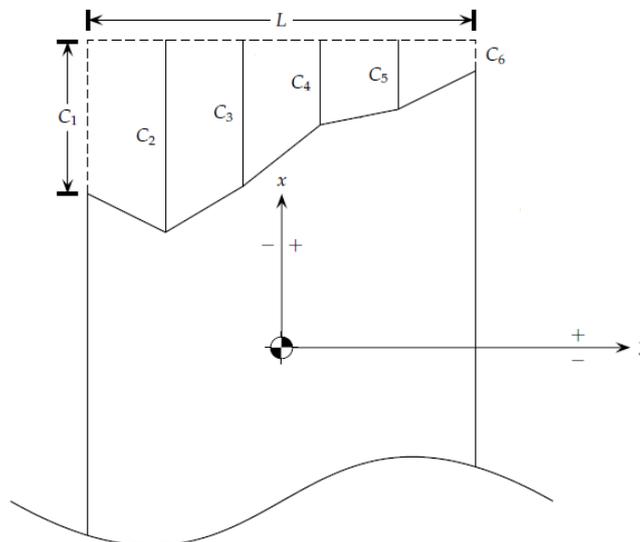


Figura 3 – Zonas de danos conforme método de Campbell.

Onde:

$$x_1 = C_1 + 2C_2 + 2C_3 + 2C_4 + 2C_5 + C_6 \quad (2)$$

$$x_2 = C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + 2C_4^2 + 2C_5^2 + C_6^2 \quad (3)$$

$$x_3 = C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_4 + C_4C_5 + C_5C_6 \quad (4)$$

Onde:

Quadro 2 – Variáveis da equação.

A	N/m (tabelado, valor experimental)
B	N/m ² (tabelado, valor experimental)
C	m (cotas de deformações do veículo)

1.3 Período pós impacto

Para análise do sinistro pós impacto, é utilizado o Princípio do Trabalho e Energia. A partir da determinação do deslocamento do centro de gravidade do automóvel desde o fim da colisão até a completa anulação da energia cinética, analisando-se se houve movimento do veículo após a colisão.

Os veículos podem colidir com os mais diversos tipos de objetos fixos. Neste presente estudo será apresentada análise de colisões com concreto (postes) e madeira (árvores), dado a maior quantidade de ocorrências nos trabalhos periciais já realizados pelos autores.

1.4 Cálculo de resistência a ruptura do objeto de concreto

Para o caso de colisões com postes de concreto, o perito deverá analisar, preliminarmente, o modelo do poste avariado. CELG (2014) apresenta o detalhamento sobre os postes de concreto armado para redes de distribuição e de transmissão, em especial, do posto tipo “duplo T”, conforme Figura 4.

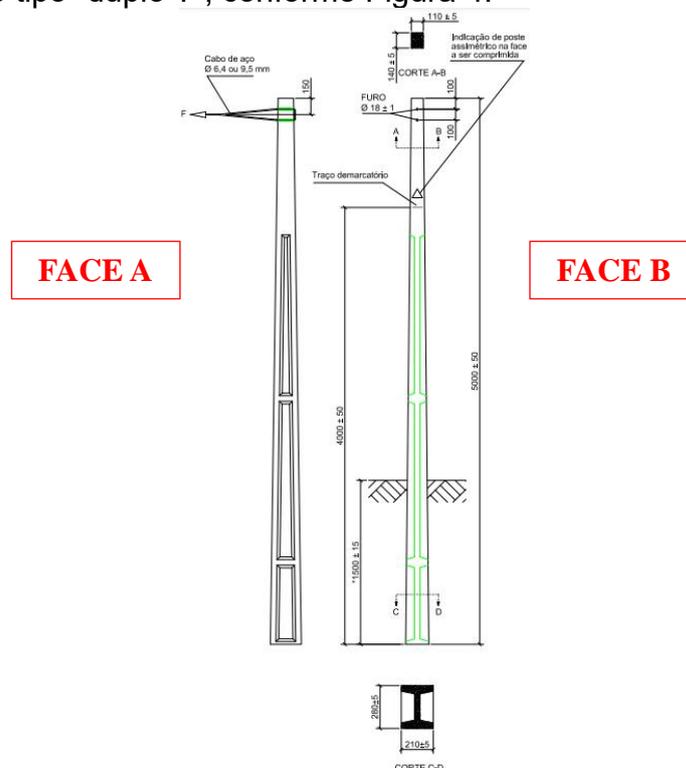


Figura 4 – Desenho do objeto “duplo T” (CELG, 2014).

Um exemplo de como adquirir as cargas de resistências, são apresentadas por CELG, 2014 conforme a Figura 5, estes dados são disponibilizados pela concessionária de energia da região.

Assim para o Cálculo da Energia de desprendida na ruptura do objeto (E_{poste}), em posse dos dados presentes na Figura 5 e das características do objeto que ocorrerá o impacto é possível calcular qual a carga na qual o objeto foi submetido e, conseqüentemente, calcular a energia de ruptura no impacto.

COMPRI- MENTO NOMINAL $L \pm 0,05$ (m)	TIPO	RESISTÊNCIA NOMINAL R_n (daN)		MOMENTO FLETOR NOMINAL NO PLANO DE APLICAÇÃO DE C_n MÍNIMO M_A (daN.m)		FORÇA ADICIONAL NO PLANO DE APLICAÇÃO DE C_n FA (daN)		MASSA APROXIMADA (kg)	DIMENSÕES (mm)										
		FACE A		FACE B		FACE A			FACE B		TOPO $a \pm 5$	BASE $A \pm 5$	TOPO $b \pm 5$	BASE $B \pm 5$	F ± 20	J ± 20	e ± 15	T ± 20	M ± 15
		FACE A	FACE B	FACE A	FACE B	FACE A	FACE B												
9	D	75	150	150	225	32	75	470	120	264	100	190	75	1.000	1.500	3.025	3.000		
		100	200	200	300	43	99												
	B	150	300	300	400	65	156	750	140	392	110	290							
		200	400	300	400	99	226												
10	D	75	150	150	225	34	78	550	120	280	100	200	975	1.100	1.600	3.025	3.000		
		150	300	300	400	69	162												
	B	300	600	400	600	162	348	900	140	420	110	310							
		500	1.000	600	900	278	592												
11	D	100	200	200	300	48	107	680	120	296	100	210	1.875	1.200	1.700	4.525	4.500		
		150	300	300	400	72	167												
	B	200	400	300	400	107	237	1050	140	448	110	330							
		300	600	400	600	167	355												
12	D	150	300	300	400	75	170	1210	140	476	110	350	2.775	1.300	1.800	4.525	4.500		
		200	400	300	400	110	240												
	B	300	600	400	600	170	361	1520	182	518	140	380							
		500	1000	600	900	291	611												
13	B	150	300	300	400	78	170	1400	140	504	110	370	2.775	1.400	1.900	4.525	4.500		
		300	600	400	600	155	360												
14	B	150	300	(Nota 4)	(Nota 4)	1.778	1.811	2.288	140	532	110	390	2.775	1.500	2.000	4.525	4.500		
		300	600																
14	B-1,5	500	1000	(Nota 4)	(Nota 4)	1.778	1.811	2.288	182	574	140	420	2.775	1.500	2.000	4.525	4.500		
		500	1000																

Figura 5 – Características dos objetos de concreto seção duplo T Padronizados, conforme disponibilizado pela (CELG, 2014).

1.5 Cálculo de resistência a ruptura da madeira

A NBR 16202 (ABNT, 2013) estabelece os requisitos mínimos exigíveis para objetos e contra objetos de eucalipto preservado sob pressão, com base na ABNT NBR 16143 e aborda o equacionamento para cálculo da força de ruptura destes materiais.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) traz os requisitos mínimos para projeto de estruturas de madeira, apresentando na Tabela E.2, os valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de reflorestamento.

$$\sigma_F = \frac{32 \pi^2 x p x l}{C^3} \quad (5)$$

Quadro 3 – Variáveis da equação.

σ_F	Limite de resistência da madeira na seção de engastamento em Mpa
P	Carga de ruptura
L	Distância da seção de engastamento ao ponto de aplicação da carga menos o valor de (y) em cm
C	Circunferência na seção de engastamento em cm

Oliveira (2008), traz tensões de resistência de rupturas médias para madeiras verdes transcritas para o Quadro 4.

Quadro 4 – Tensões de cisalhamento de madeira baixa densidade verde.

Madeira	Tensão de cisalhamento verde	Tensão de cisalhamento a 15% de umidade
Baixa densidade (<480kg/m ³)	18,5 MPa	31,5 MPa

1.6 Velocidade de Danos

A Figura 6, indica a avaliação do *crash test*, em média, comparando-se os danos nos veículos e suas respectivas velocidades no momento da colisão em obstáculos fixos. Esses danos correspondem à energia dissipada em deformações quando da colisão. Esta velocidade, é instrumento de complementação das parcelas de energia. No caso da avaliação do veículo pelo princípio da conservação de energia (ALMEIDA, 2018).

Tipo de Avaria	Vel. dano (km/h)
Entortar pára-choque	05
Quebrar pára-choque	10
Quebrar pára-choque e grade do radiador	15/20
Quebrar pára-choque, faróis, afundar grade, amassar capô, deformar lataria anterior	20/30
Quebrar pára-choque, faróis, afundar grade, deformar lataria anterior até encostar-se ao motor sem deslocá-lo	30/40
Quebrar pára-choque, faróis, afundar grade, deformar lataria anterior até encostar-se ao motor sem deslocá-lo, deformar suspensão	40/50
Afundar grade do radiador mais colmeia	40/45
Arrancar suspensão	40/45
Arrancar roda diretriz	40/45
Partir longarina	50/60
Arrancar motor dos calços / deslocar motor	60/70
Arrancar roda motriz	50/60

Figura 6 - Velocidade e danos conforme tipo de avaria identificado (ALMEIDA, 2018).

1.7 Cálculo da velocidade inicial de colisão

A dinâmica do sinistro é possível ser descrita pelas etapas da distribuição de energia durante a colisão, isto é, em cada fase da colisão, uma parcela de energia é transformada. A partir do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento (PCQM), atribui-se a equação apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 – Distribuição da energia na colisão.

$$\begin{array}{r}
 \mathbf{E_o} \\
 \text{Ener-} \\
 \text{gia inicial, an-} \\
 \text{tes da colisão}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{r}
 \mathbf{E_{def}} \\
 \text{Ener-} \\
 \text{gia perdida} \\
 \text{com o im-} \\
 \text{pacto inicial} \\
 \text{que transfor-} \\
 \text{mou em da-} \\
 \text{nos no veí-} \\
 \text{culo}
 \end{array}
 +
 \begin{array}{r}
 \mathbf{E_{objeto}} \\
 \text{Energia perdida} \\
 \text{com a ruptura e o deslo-} \\
 \text{camento do objeto}
 \end{array}$$

2. Metodologia

Este trabalho objetivou avaliar as condições do veículo, danos ocorridos e a existência de casualidade entre o evento de sinistro relatado e as avarias no veículo.

Para a elaboração dos laudos de casos apresentados neste documento fora utilizado os elementos dispostos na norma ABNT NBR 10719:2015 - Informação e documentação - Relatório técnico e/ou científico – Apresentação.

O trabalho pericial destes casos foi desenvolvido de maneira direta, com a análise do objeto da lide nas condições atuais, com base na documentação e informações fornecidos pelas partes e obtidos da literatura técnica.

Após análise dos documentos e entendimento da dinâmica do sinistro (estudo de como se deu o sinistro e suas consequências) fora possível avaliar e defender a conclusão do laudo destes casos.

As atividades de perícia técnica dos itens constante nos laudos foram elaboradas sob a responsabilidade e exclusiva competência de engenheiros e arquitetos legalmente habilitados pelos Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia – CREA, de acordo com a Lei Federal 5194 de 21/12/1966 e resoluções do CONFEA, e Lei Federal 12.378 de 31/12/ 2010.

As unidades de medidas apresentadas neste documento devem seguir o Decreto Federal 81.621 de 03/05/1978.

Os serviços de perícia em equipamentos mecânicos e automotores devem ser exclusivamente deferidos por profissional com habilitação em Engenharia Mecânica conforme disposto na Resolução Nº 218, de 29/06/1973, artigo 12.

O conceito de “dano estrutural” é baseado na Resolução n. 810 de 15 de dezembro de 2020 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

A convenção “direito” e “esquerdo” tem, neste documento pericial, a referência da visão do operador do equipamento quando em seu posto de operação.

3. Estudos de caso

3.1 Estudo de caso 1

3.1.1 Local do sinistro

O sinistro ocorreu na Av. F no município de Goiânia – GO com localização indicada pela Figura 7 e pelo Quadro 6.

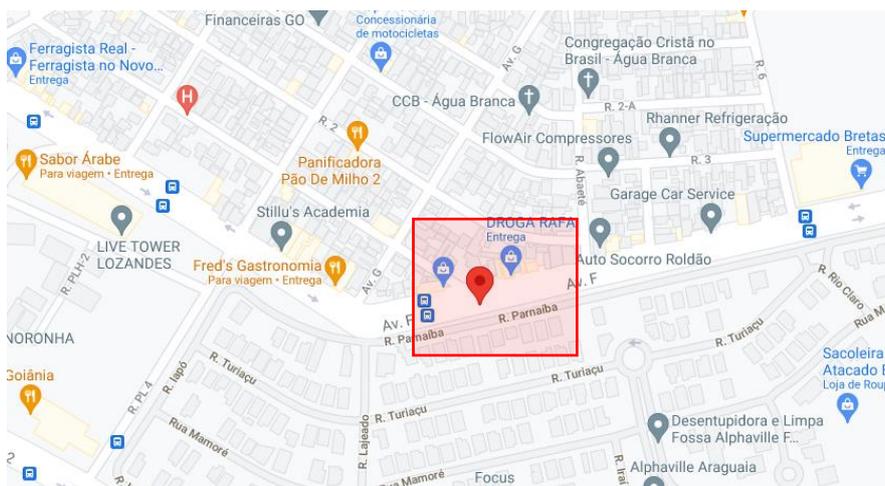


Figura 7 – Local do sinistro conforme *Google Maps*.

Quadro 6 – Localização geográfica do local do sinistro.

Latitude	Longitude
-16.699128	-49.2198141

As características do evento de sinistro são descritas:

- a) Tipo de sinistro: Saída de Pista.
- b) Número de ocupantes: 01 pessoa (condutor).
- c) Perímetro: urbano.
- d) Tipo de pista: Pavimentação asfáltica.
- e) Sem vítimas fatais.
- f) Condições do tempo: pista seca.

Quantidade de veículos envolvidos no sinistro: 01 veículo.

Data do sinistro: **04/07/2021 as 06:00h.**

3.1.2 Registros do veículo na data do sinistro

As Figuras 8 a 10 foram extraídas do RAI 20152829.

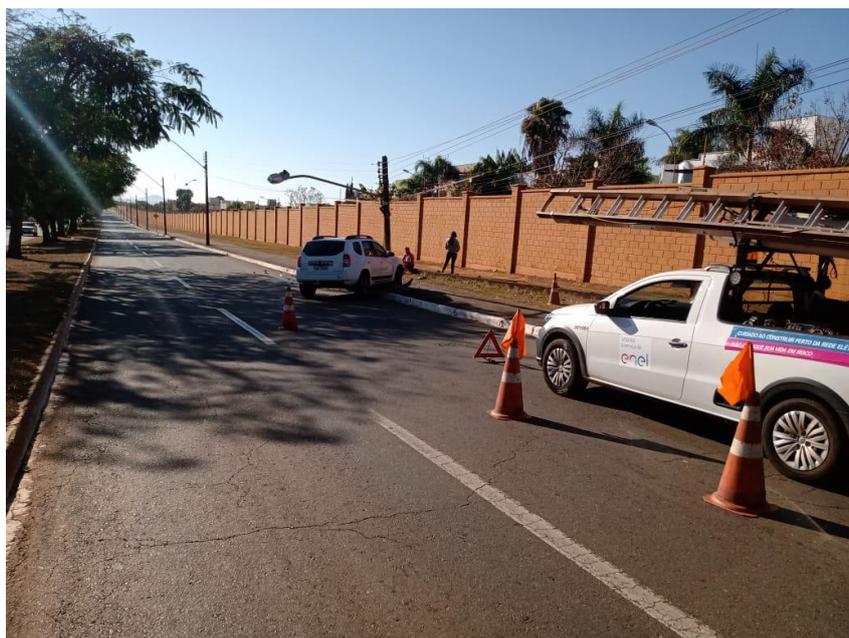


Figura 8 – Vista traseira do veículo em perspectiva após o sinistro.

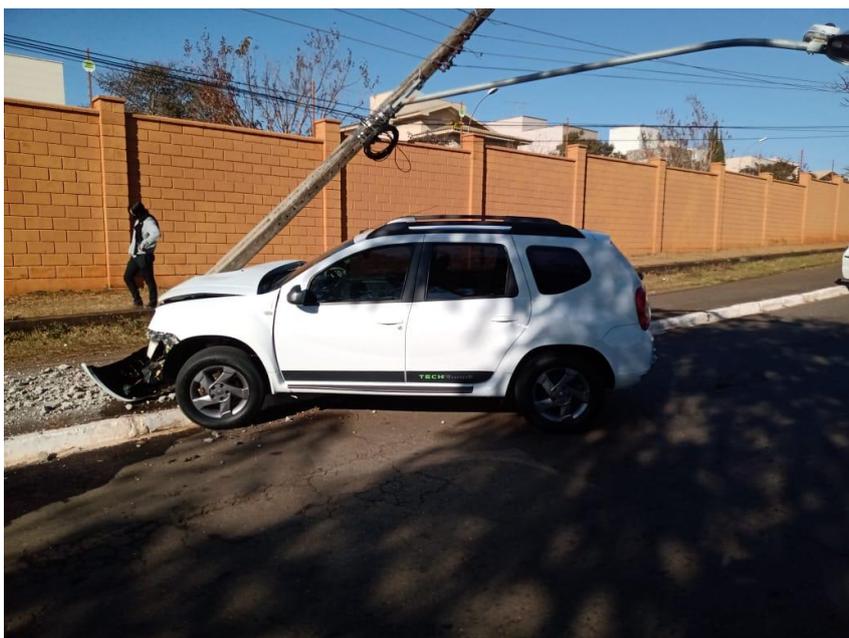


Figura 9 – Vista lateral do veículo após colisão com FACE B do poste.

A Figura 10 apresenta o veículo após o evento de sinistro. É possível a visualização da sua posição final: **colisão frontal com objeto de concreto** e o com ruptura total da base (ruptura da seção transversal).



Figura 10 – Posição final do veículo no local do sinistro (porção frontal colidida com poste de concreto – **FACE B**).

3.1.4 Análise do boletim de ocorrências

O Boletim Online, gerado pela Secretaria de Segurança Pública, número da ocorrência 20152829, com data do sinistro de 04/07/2021 (domingo) às 06:00h.

A narrativa do Autor presente no boletim online:

“Motorista perdeu direção do carro, ocorrendo assim colisão com objeto. Não houve vítimas ou mais envolvidos.”

Pela análise pericial no local do sinistro, verifica-se que o local do sinistro se encontra em avenida cuja **velocidade máxima** permitida é de **60km/h**.

3.1.5 Análise e vistoria do local do sinistro

A análise do local do sinistro se deu inicialmente com a localização do local do sinistro de forma mais precisa. As Figuras 11 e 12, fazem a comparação do local dos eventos antes e depois do ocorrido de forma precisa.



Figura 11 – Local do evento antes do evento, conforme Google Maps.



Figura 12 – Local do evento após o vento (em 13/07/2021).

3.1.6 Análise dinâmica da colisão com o poste de concreto e cálculo da velocidade de colisão

3.1.6.1 Período pré-impacto:

Não se constatou marcas de pneus no pavimento asfáltico.

3.1.6.2 Período de impacto:

Para cálculo da energia relacionada a deformação do veículo (E_{deform}), será utilizado o Método de Campbell (1972) para estabelecer relações entre a velocidade de impacto do automóvel e os valores de deformação da região colidida do veículo. Os resultados obtidos serão a energia envolvida na deformação E_{deform} e a velocidade relacionada V_{deform} .

Os coeficientes A, B e G foram obtidos de tabelas recomendadas por Almeida (2018), considerando-se *stiffness category*.

O trabalho que a força impulsiva realiza devido ao deslocamento da estrutura do poste, após a colisão do veículo, no período de tempo que suas estruturas estiverem em contato será relacionado entre a força impulsiva aplicada pelo veículo para o deslocamento do poste em um período de tempo. A força impulsiva aplicada é determinada utilizando-se dos valores normatizados e apresentados conforme tabela fornecida pela Celg (2014).

Durante a análise de campo do exame pericial foi realizada as medições de um poste semelhante, obtendo-se os valores D: 23cm G:5cm B:17,5cm e G:5cm. A área da seção transversal (Equação 6) e o valor da Energia Aplicada ao Objeto (Equação 7), foram calculadas conforme Lino (2015). Assim o cálculo da Energia desenvolvida do poste é dado por:

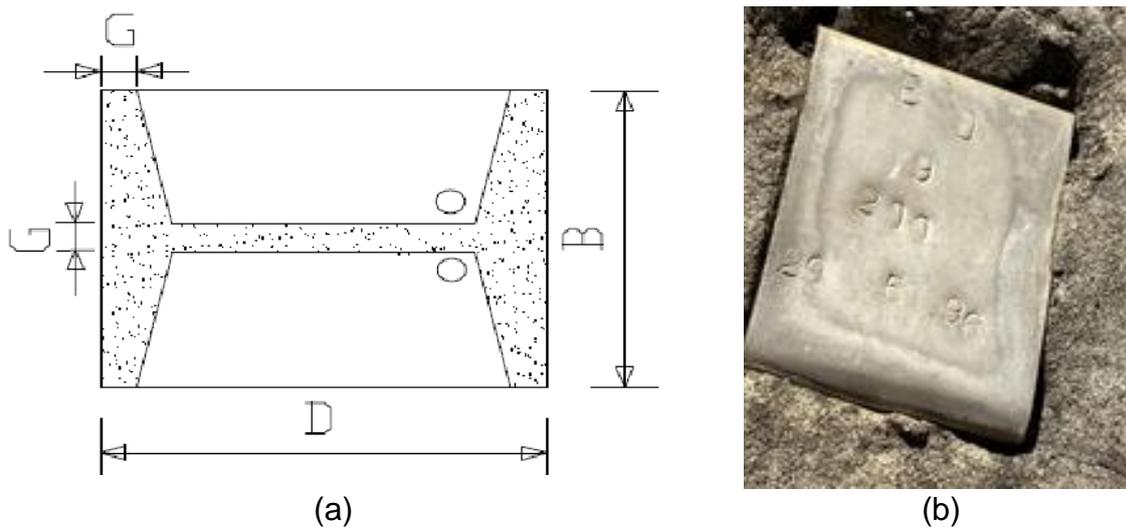


Figura 13 – Vista da (a) seção do objeto e da (b) placa de identificação.

$$A_s = A_{ext} - 2A_{Trapézio} \quad (6)$$

$$E_{poste} = \sigma_{rup} A_s \quad (7)$$

E_{poste}	106.635 N.m
--------------------------	--------------------

Trata-se de um poste CA, conforme Celg (2014), com estrutura de concreto armado cujo valor de f_{ck} é de 25Mpa.

Fora assim identificado que a velocidade de ruptura para este objeto é calculada utilizando a energia cinética clássica associada pelas equações 8 e 9:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (8)$$

$$E_{total} = \frac{mv_{rup}^2}{2} \quad (9)$$

Assim, a velocidade associada a ruptura do objeto:

$$v_{rup} = 32 \text{ km/h}$$

A Figura 14 apresenta a linha de referência para a medição das deformações segundo a metodologia de Tumbas (1988) e Kubiak (2014).

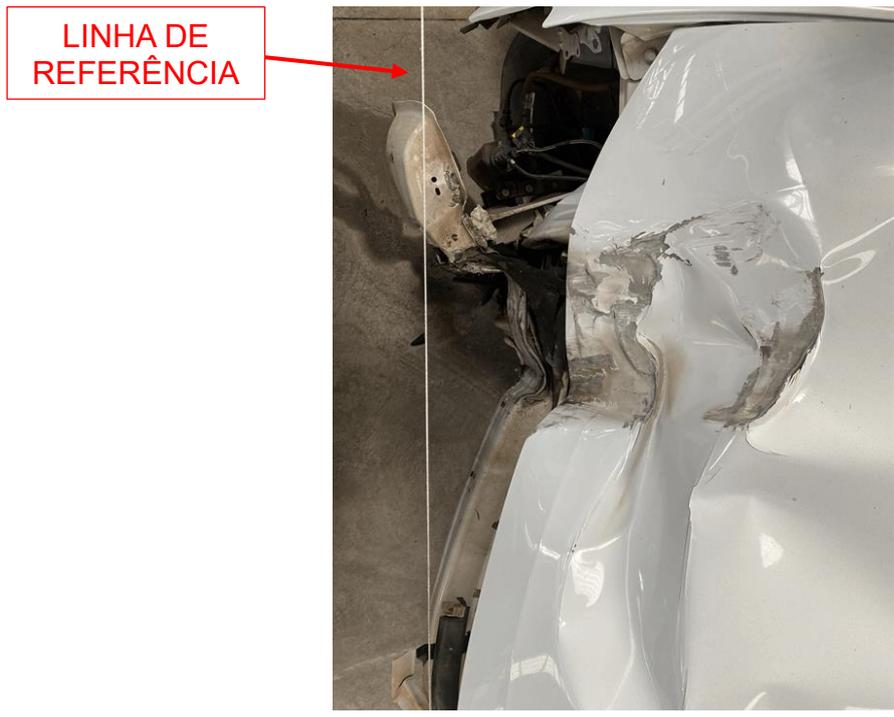


Figura 14 – Análise das deformações conforme método de *Campbell (1972)*.

Após a escolha do método, e levantamento dos dados do sinistro, calculou-se a energia de deformação do veículo:

E_{deform}	66.803 N.m
---------------------------	-------------------

3.1.10 Análise da dinâmica do sinistro

Dado os relatos das partes envolvidas no sinistro, dado a análise das avarias nos veículos, dada as configurações do local do evento e das condições de trafegabilidade, admite-se a hipótese da dinâmica do sinistro apresentada no Quadro 7 e na Figura 15.

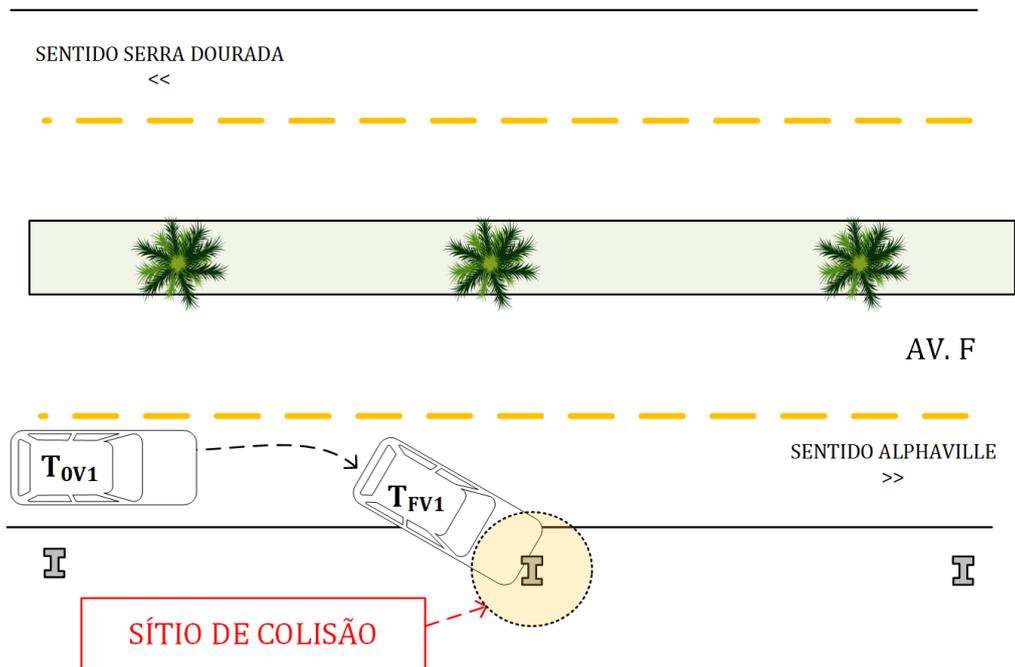


Figura 15 – Diagrama do evento.

Quadro 7 – Sequência dos eventos.

Evento	Descrição	Ins-tante	Figura
1	V1 trafega pela Av. F no sentido Alpha-ville.	T_{0V1}	15
2	V1 perde o controle e sai para a direita da pista colidindo com um objeto de energia do tipo T, quebrando-o.	T_{FV1}	15

A Figura 16 apresenta a vista superior do local do sinistro, com a esquematização da **Posição Inicial** (T_0) e final (T_F) de V1 e do objeto.



Figura 16 – Deslocamento do veículo durante o sinistro (T_0).

É possível identificar pelas avarias do veículo pericidado no veículo, conforme Figuras 17 e 18, que houve impacto puramente frontal com o poste.



Figura 17 – Vista frontal do veículo – avaria de colisão com poste.



Figura 18 – Vestígios de colisão com o poste.

3.1.11 Sobre a velocidade do veículo antes da colisão caso 1

A partir do percurso percorrido pelo veículo até a parada final, da energia gasta para a ruptura do objeto e com a deformação frontal inicial, concluiu-se sobre as velocidades do Quadro 8.

Quadro 8 – Resultados obtidos para energias e velocidades discutidas no item 5.

$$E_0 = E_{def} + E_{objeto}$$

E_0 Energia inicial, antes da colisão	$=$	E_{def} Energia perdida com o impacto inicial que transformou em danos no veículo	$+$	E_{objeto} Energia perdida com a ruptura e o deslocamento do objeto
--	-----	--	-----	--

A partir do E_0 e da massa do veículo é permitido obter a Velocidade Inicial (V_0), a Equação 10 apresenta a energia cinética associada e energia total:

$$E_0 = \frac{mv_0^2}{2} \quad (10)$$

A velocidade inicial mínima do veículo periciado é de $V_0 = 84$ km/h.

3.1.12 CONCLUSÕES CASO 1

No sinistro ocorrido, após o completo estudo dos documentos, registros fotográficos, relatos, entendimento da dinâmica do sinistro e análise das condições finais de avarias dos veículos envolvidos, **conclui-se** que:

- i. O veículo trafegava em via, quando o motorista perdeu o controle e saiu lateralmente a pista.
- ii. Com a análise da dinâmica do sinistro, é identificado que o veículo saiu lateralmente a direita da pista, colidindo frontalmente com um objeto de concreto, e anulando assim a sua velocidade.
- iii. Não foi encontrado nenhum sinal de frenagem na pista na qual o veículo trafegava.
- iv. Em seu interior são identificados o acionamento dos airbags frontais.
- v. Não há depoimento do ocupante sobre falhas quando em funcionamento, não há também informações sobre *recall* junto ao fabricante e restrições na consulta do veículo junto ao fabricante e ao Denatran.
- vi. A análise técnica **concluiu que o veículo trafegava em velocidade não inferior à 84km/h**, cerca de 40% superior a máxima permitida no trecho do sinistro.
- vii. Em função do sinistro, os dados estruturais segundo a Res. 810/2020 do Contran classificam o veículo como **Média Monta**.

3.2 Estudo de caso 2

3.2.1 Local do sinistro

O sinistro ocorreu na GO 070 no município de Goianira – GO com localização indicada pela Figura 19 e pelo Quadro 9.



Figura 19 – Local do sinistro conforme *Google Maps*.

Quadro 9 – Localização geográfica do local do sinistro.

Latitude	Longitude
16°33'26.6"S	49°24'19.3"W
-16.557380	-49.405350

As características do evento de sinistro são descritas:

- g) Tipo de sinistro: Saída de Pista.
- h) Número de ocupantes: 02 pessoas (condutor e passageiro).
- i) Perímetro: rodoviário.
- j) Tipo de pista: Pavimentação asfáltica.
- k) Sem vítimas fatais.
- l) Condições do tempo: pista seca.

3.2.2 Registros do veículo na data do sinistro

As Figuras 20 a 22 foram extraídas do RAI 19333093.



Figura 20 – Veículo na posição final (fora da rodovia).



Figura 21 – Vista da distância percorrida pelo veículo até a parada.



Figura 22 – Posição final do veículo no local do sinistro (lateral direita sobre o solo).

A Figura 22 apresenta o veículo após o evento de sinistro. É possível a visualização da sua posição final: tombamento com a lateral direita do veículo sobre o solo.

3.2.3 Análise do boletim de ocorrências

O Boletim Online, gerado pela Secretaria de Segurança Pública, número da ocorrência 19333093, com data do sinistro de 08/05/2021 (sábado) às 00:58h.

A narrativa do Autor presente no boletim online:

“RELATO DO PM: Segundo versão do condutor de VE01, e vestígios encontrados na zona do sinistro, VE 01 (HONDA/CIVIC EXS FLEX) placa NKC4H40 de cor prata trafegava pela GO 070 no sentido Goiânia para Goianira, quando na altura aproximada do km 013, VE 01 sem motivos aparentes perdeu o controle direcional de seu veículo vindo a sair de pista e em sequência chocou se com um coqueiro que se encontrava fora da pista de rolamento. Causando ferimentos no passageiro o senhor Maercio Fonseca Markus que foi socorrido pela UR155, para o hospital de urgência Otavio Lages, VE 01 com danos de media monta e liberado no local para seu condutor que aguardava no local a seguradora Mais Proteção Veicular para realizar a remoção do mesmo.

Obs.:Foi realizado o teste de etilometro, com valor de 0,00 mg/L como consta fotos em anexo.

Relato BM: Carro bateu coqueiro, vítima com leve corte no nariz e falta de ar. Acionados para atender sinistro de trânsito carro x obj fixo (árvore) no local o condutor recusou atendimento vítima 2 com dor nas costas. Queixa de dor no tórax e cervical. Realizamos APH e encaminhamos ao hospital. Custódia do carro ficou com Walisson Silva Lourenço.”

Pela análise pericial no local do sinistro, verifica-se que o local do sinistro se encontra próximo ao km 13, na rodovia GO 070 sentido Goiânia-Goianira.

3.2.4 Análise e vistoria do local do sinistro

A análise do local do sinistro se deu inicialmente com a localização do local do sinistro de forma mais precisa. As Figuras 23 e 24, fazem a comparação do local dos eventos antes e depois do ocorrido de forma precisa.



Figura 23 – Local do evento antes do evento, conforme Google Maps.



Figura 24 – Local do evento após o vento (em 13/05/2021).

A partir da análise do local do sinistro foi possível identificar a trajetória do veículo, da posição inicial até a posição final. Foi identificado o rompimento de cercas e danos à vegetação permanentes no dia da vistoria do local (13/05/2021), conforme complementa a Figuras 25.



Figura 25 – Vestígios do coqueiro na qual o veículo colidiu.

A identificação do local onde o veículo ficou avariado em posição final pode ser identificada por meio de vestígios de estilhaços de vidro encontrados e da análise dos danos da vegetação e lancil no local examinado, conforme Figura 26.



Figura 26 – Identificação de ranhuras no meio fio e estilhaços de vidro do veículo.

A Figura 27 apresenta vista da seção do coqueiro que foi rompido por V1.

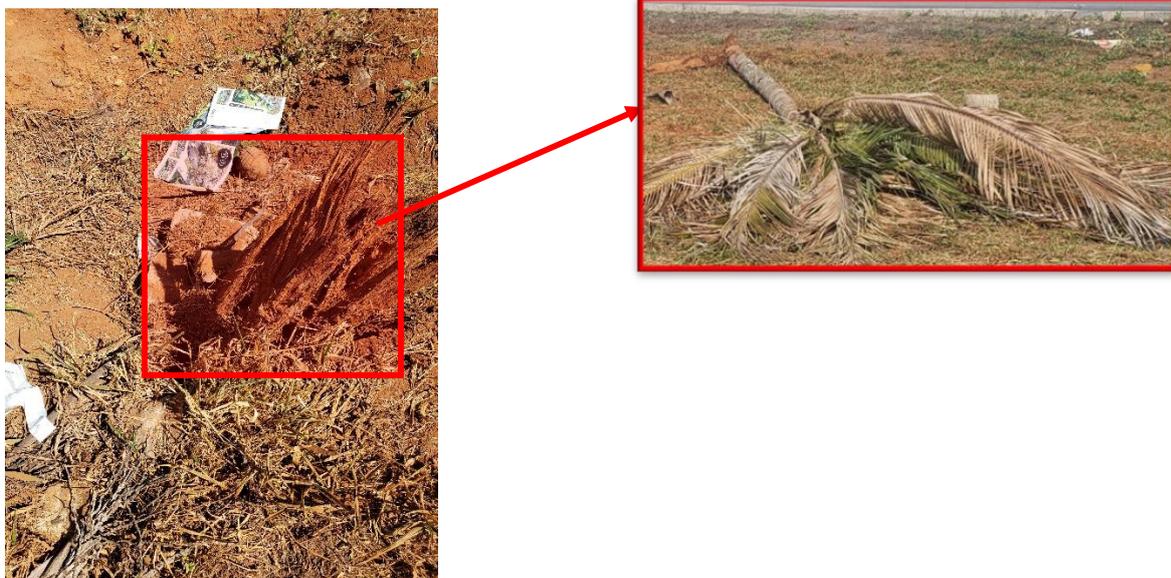


Figura 27 – Seção rompida do coqueiro (impacto inicial).

3.2.5 Análise da dinâmica do sinistro

Dado os relatos das partes envolvidas no sinistro, dado a análise das avarias nos veículos, dada as configurações do local do evento e das condições de trafegabilidade, admite-se a hipótese da dinâmica do sinistro apresentada no Quadro 10 e na Figura 28.

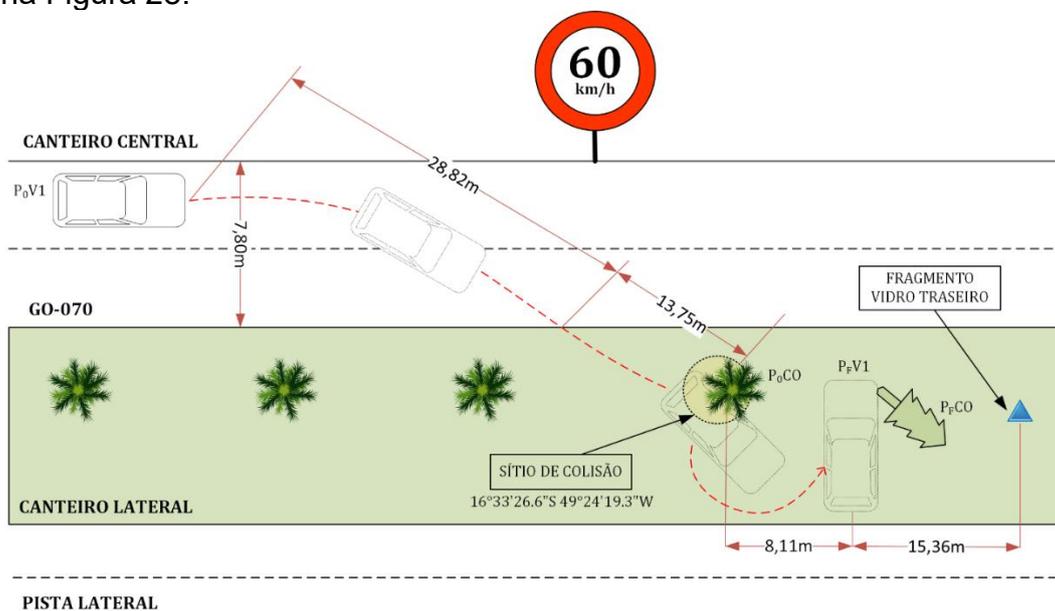


Figura 28 – Diagrama do evento.

Quadro 10 – Sequência dos eventos.

Evento	Descrição	Ins-tante	Figura
1	V1 trafega pela rodovia GO 070.	T ₀	15
2	V1 perde o controle e sai da pista.	T ₁	15

3	V1 colide com a lateral esquerda com árvore, gerando impacto principal de grande massa e impulsionando o giro horário (rotação aproximada de 120° após colisão) do veículo.	T ₂	15
4	O vidro traseiro do veículo quebra e partes são lançadas.	T ₃	15
5	V1 finaliza o movimento de colisão	T _F	15

É possível identificar pelas avarias do veículo periciado no veículo, conforme Figura 29, que inicialmente houve impacto lateral com a árvore seguido de uma rotação entorno deste ponto.



Figura 29 – Vista lateral esquerda do veículo – avaria de colisão com coqueiro.

A Figura 30 ilustra marcas de derrapagem lateral do veículo, em especial nos pneus, concentrando marcas de sedimentos de terra e vegetação rasteira.



Figura 30 – Vista roda do veículo com evidências de contato com coqueiro e terra.

A Figura 31, indica vista superior do veículo, com ausência de deformação no teto, parando este veículo em sua posição normal, com as rodas para baixo.



Figura 31 – Vista superior do veículo.

Para o cálculo da energia de deformação do veículo, foi utilizado o método de *Campbell*, e delimitada a área para cálculo das deformações, conforme Figura 32.



Figura 32 – Análise das deformações conforme método de *Campbell*.

3.2.6 Sobre a velocidade do veículo antes da colisão caso 2

A partir do percurso percorrido pelo veículo até a parada final, da energia gasta para a ruptura da árvore e com a deformação frontal inicial, concluiu-se sobre as velocidades do Quadro 11.

Quadro 11 – Resultados obtidos para energias e velocidades discutidas no item

5.

$$E_o = E_{def} + E_{arv} + E_{res}$$

E_o Energia inicial, antes da colisão	=	E_{def} Energia perdida com o impacto inicial que transformou em danos no veículo	+	E_{arv} Energia perdida com a ruptura e o deslocamento da árvore	+	E_{res} Energia residual após impacto até a parada final do veículo
--	---	--	---	---	---	--

Após a escolha do método, de Campbell conforme apresentado no caso 1, e levantamento dos dados do sinistro, fora possível calcular as respectivas energias, conforme os valores abaixo:

E_{def}	96.103 N.m
-----------	-------------------

Foi definido no item 1.5 o conceito do cálculo da tensão a qual está submetida o tronco da árvore no momento do impacto. Utilizando-se desta equação e do valor tabelado da tensão de cisalhamento, é possível calcular qual a carga na qual a árvore foi submetida e, conseqüentemente, calcular a energia de ruptura no impacto.

E_{coq}	83.424 N.m
-----------	-------------------

A energia residual é calculada após a análise da dinâmica do acidente. Identificado a distância na qual o veículo teve sua velocidade igual a zero ($V_f=0$), é possível calcular a velocidade inicial necessária para percorrê-la.

Em posse desta velocidade o método de Energia-Trabalho da Mecânica Clássica Newtoniana permite calcular a Energia Cinética a qual o veículo foi submetido.

E_{res}	193.598 N.m
-----------	--------------------

Considerando que o impacto lateral, especificando que fora um coqueiro, e partir do E_o , sendo este o somatório entre as energias desenvolvidas com a árvore, deformação do impacto e residual, e da massa do veículo é permitido obter a Velocidade Inicial (V_o), por meio da equação 7:

E_o	373.125 N.m
-------	--------------------

A velocidade inicial mínima do veículo periciado é de $V_o = 115$ km/h.

3.2.7 CONCLUSÕES CASO 2

No sinistro ocorrido, após o completo estudo dos documentos, registros fotográficos, relatos, entendimento da dinâmica do sinistro e análise das condições finais de avarias dos veículos envolvidos, **conclui-se** que:

- i. O veículo trafegava em via, quando o motorista perdeu o controle e saiu lateralmente a pista.
- ii. Com a análise da dinâmica do sinistro, é identificado que o veículo saiu lateralmente a direita da pista, colidindo inicialmente com um coqueiro e rotacionando 120° até a posição final.
- iii. Foram encontradas marcas de frenagem na pista na qual o veículo trafegava e marcas de deslocamento em frenagem em terra.
- iv. Em função do sinistro, os dados estruturais segundo a Res. 810/2020 do Contran classificam o veículo como **Grande Monta**.
- v. A análise técnica concluiu que o veículo trafegava em velocidade **não inferior à** 115km/h, cerca de 90% superior a máxima permitida no trecho do sinistro (60km/h).

4. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma metodologia utilizada para o cálculo de velocidades de colisão de veículo com objetos fixos, em particular, com postes de concreto e árvores.

A partir dos conhecimentos físicos de conservação de energia, as colisões e as avarias resultantes foram examinadas de maneira discreta, de forma a se calcular a parcela de energia desprendida do veículo a cada instante. Da soma destas parcelas foi possível estimar uma quantidade de energia mínima que estes veículos possuíam antes da colisão, assim como a velocidade inicial (pré-impacto).

Finalmente, foram apresentados dois estudos de casos. Estes estudos permitiram a aplicação da metodologia descrita de maneira tangível, assim como a comparação do evento real com o modelo físico matemático proposto.

A metodologia discutida servirá para a análise de inúmeros sinistros de trânsito que acontecem no Brasil todos os anos.

5. BIBLIOGRAFIA

ANBT. NBR – 7190: **Projeto de estruturas de madeira**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1997.

ANBT. NBR – 16202: **Objetos de eucalipto preservado para redes de distribuição elétrica – Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2013.

CAMPBELL, Kenneth L. **Energy as a Basis for Accident Severity--A Preliminary Study**. The University of Wisconsin-Madison, 1972.

CAMPBELL, Kenneth L. **Energy basis for collision severity**. SAE Transactions, 1974, 2114-2126.

CELG. **Objetos de concreto armado para redes de distribuição e de transmissão. Setor de Normatização Técnica**. NTC-01. Revisão 04. Janeiro de 2014.

KUBIAK, P. **Determination of Energy Deformation with using NHTSA Stiffness Coefficient.** International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 4, Issue 4, October 2014. Disponível em: [https://www.ijeit.com/Vol%204/Issue%204/IJEIT1412201410_28.pdf].

LINO, Almeida. **Manual de Perícias em Sinistros de Trânsito.** Lino Leite de Almeida. 2ªed. 2015.

OLIVEIRA, Elbio. **Comparação entre três referências normativas para o dimensionamento de ligações parafusadas em madeira.** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2008.

PRF. **Dados abertos – Anuário 2020.** Polícia Rodoviária Federal. Diretoria de Operações, 21 de janeiro de 2020. Disponível em: [<https://www.gov.br/prf/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-acidentes>].

Toresan, W. J. **Colisão de automóveis em objetos de concreto armado: estudo do fenômeno e desenvolvimento de uma metodologia de cálculo de velocidade.** Perito Criminal.

TUMBAS, Nicholas S.; SMITH, Russell A. **Measuring protocol for quantifying vehicle damage from an energy basis point of view.** SAE Technical Paper, 1988.

WHO. **Road Traffic Injuries.** World Health Organization. 21 de junho de 2021. Disponível em: [<https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>]