



**IBAPE NACIONAL**  
Instituto Brasileiro de Avaliações  
e Perícias de Engenharia



**IBAPE BAHIA**  
Instituto Brasileiro de  
Avaliações e Perícias de  
Engenharia da Bahia

# Perícia em colisão frontal entre veículos automotores

**Cláudio Maria Camuzzo Junior**



O conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade de seus autores.

PERÍCIA EM COLISÃO FRONTAL ENTRE VEÍCULOS AUTOMOTORES

**RESUMO:**

Perícia judicial realizada para determinar a causa de acidente de trânsito envolvendo veículos automotores com colisão frontal em pista sinuosa. Foram analisados laudos do corpo técnico do Instituto de Criminalística e laudo de lavra de assistente técnico da parte evidenciando os acertos e desacertos dos estudos apresentados. A velocidade de um dos veículos foi obtida através de tacógrafo. A velocidade do segundo veículo foi obtida através do princípio da conservação da quantidade de movimento. A dinâmica do acidente foi embasa pela análise do polígono de estabilidade através do cálculo das velocidades críticas de escorregamento e de tombamento, determinando o traçado da trajetória do veículo que acabou invadindo a linha dupla contínua de divisão de fluxos opostos.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Colisão frontal; Invasão de faixa; Princípio de conservação de quantidade de movimento.*

## **1. PRELIMINARES**

### **1.1. Objetivo**

Visa o presente trabalho a produção de prova pericial técnica de engenharia, pretendida pela empresa Ré Comércio e Serviços Florestais Ltda (fls. 310), visando definir a dinâmica e responsabilidade exclusiva ou concorrente pela causa do acidente automobilístico, envolvendo a caminhonete S10 e o ônibus da empresa Viação Transportes, apurando eventual excesso de velocidade e invasão de pista por parte dos veículos envolvidos, bem como evidenciar o acerto ou desacerto dos estudos apresentados pelas partes, conforme r. despacho.

### **1.2. Histórico**

Trata-se de ação ordinária de indenização de danos materiais e morais decorrente de acidente de trânsito que vitimou o passageiro da caminhonete S10, Sr. João, conduzido pelo Sr. José, quando colidiu frontalmente com o ônibus coletivo da Viação Transp. e Turismo Ltda, conduzido pelo Sr. Márcio.

Alega a autora que no dia 19 de maio de 2007, na altura do km 192 da Rodovia SP -79, que liga Tapiraí a Juquiá, em trecho sinuoso, tanto José quanto Márcio conduziam seus respectivos veículos em velocidade incompatível para o local, agravado pela chuva no momento, razão pela qual invadiram a pista de rolamento um do outro, culminando com a colisão de ambos e morte do esposo e genitor dos requerentes. Da conjunção desses fatores alega a obrigação de indenização pelos danos materiais e morais direta do corréu José e derivada das corrés, requerendo a procedência da ação e a condenação dos requeridos bem como a concessão dos benefícios da Assistência Judiciária Gratuita.

A inicial foi instruída com cópias do Boletim de Ocorrência, Termo de Declarações dos condutores dos veículos Laudo n.º1728/07 do Instituto de Criminalística, Laudo n.º 2789/08 Complementar de Acidente de Trânsito, também do Instituto de Criminalística e fotos dos veículos sinistrados, documentos estes que foram de interesse para perícia.

Citada, a corré Viação Transporte e Turismo Ltda. apresentou contestação, alegando, no mérito, que o acidente ocorreu por única e exclusiva responsabilidade do motorista da caminhonete S10, que ao adentrar à curva com velocidade excessiva para o local, não conseguiu controlar o veículo vindo a se chocar com o ônibus que seguia em sentido contrário, em sua correta faixa. Sua tese é fundamentada nos laudos periciais n. 1729/07 e 2789/08 da Equipe de Perícias Criminalísticas de Registro, que concluíram que a S10 invadiu a faixa de rolamento sentido oposto à sua, causando o acidente. Ao final, requereram a denúncia da lide à empresa seguradora; o sobrestamento do feito até a final decisão do processo crime; bem como o indeferimento de todos os pedidos condenatórios e indenizatórios contidos na inicial.

A corré Comércio e Serviços Florestais Ltda. apresentou contestação alegando, em síntese, que a empresa não tem responsabilidade pelos fatos que resultou na morte do marido e pai dos autores; que o sócio proprietário e condutor da camionete S10, Sr. José também foi vítima no acidente, alegando culpa exclusiva do motorista do ônibus da empresa Viação, baseado nos depoimentos de testemunhas, na velocidade registrada em tacógrafo que equipava o ônibus; que o laudo pericial elaborado pela Polícia Civil Técnica não goza de presunção absoluta, apontando irregularidades nesse laudo, com base em parecer técnico de lavra do Engenheiro

Mecânico João concluindo que a culpa pela ocorrência do acidente foi única e exclusivamente do motorista que conduzia o ônibus que invadiu a mão de direção por onde seguia a caminhonete S10. Requereu em preliminar a extinção do processo sem julgamento do mérito em preliminar arguidas e, no mérito, a total improcedência da ação. Protestou pela produção de provas e perícia judicial.

A Companhia de Seguros apresentou contestação, aceitando a denunciação efetuada nos exatos termos e limites do contrato do seguro junto a denunciante e requereu, no mérito, que os pedidos sejam julgados improcedentes e, subsidiariamente pede sejam as condenações arbitradas dentro dos limites pactuados no contrato de seguro.

O r. despacho saneador de fls. definiu os prontos controvertidos bem como a produção de prova pericial técnica pretendia pelo Réu Comércio e Serviços Florestais Ltda, honrando o signatário com a nomeação para o encargo e facultando às partes a apresentação de quesitos e assistentes técnicos.

A autora apresentou quesitos a fls., deixando de indicar assistente técnico. O corréu Comércio e Serviços Florestais Ltda apresentou quesitos a fls., indicando o Eng. João como assistente técnico. A Seguradora denunciada à lide apresentou quesitos a fls. e a corré Viação apresentou quesitos a fls.

## **2. VISTORIA**

A vistoria no local foi realizada no dia 17 de abril de 2014, por volta das 16 h na Rodovia SP 79, Km 192, Município de Juquiá – SP acompanhada pelo requerido Sr. José, seu parente Murilo e seu assistente técnico Eng. João; pelo o Sr. Márcio e seu patrono Dr. Miguel

No local foram realizadas as exposições fotográficas e medições das posições mais prováveis das imobilizações dos veículos com base no croqui do boletim de ocorrência e com base nas informações prestadas pelos motoristas dos veículos. As posições de imobilização dos veículos também foram baseadas nas fotos juntadas nos autos bem como as fotos tiradas por este signatário.

No dia anterior foi realizada diligência no Foro da Comarca de Juquiá para obter mais informações sobre os laudos elaborados pela Equipe de Perícias Criminalística de Registro (laudos n.º 1729/07 e n.º 2789/08), juntados nos autos de Ação Penal n.º 312.01.2007.001276-0 daquela Comarca. A diligência restou infrutífera uma vez que os autos se encontravam no E. Tribunal de Justiça de São Paulo.

Conforme determinado no r. despacho de fls. 370, cópias digitas das fotos que instrui o laudo do IC N. 1729/07 foram encaminhadas ao signatário pelo Perito Criminal Aníbal, chefe da E.P.C de Registro para análise. Já as fotos digitais que instruem o laudo n.º 2789/08 não foram recuperadas. Em substituição foram encaminhadas cópias digitalizadas em preto e branco extraídas da cópia física do laudo existente nos arquivos.

O signatário também buscou informações técnicas com o fabricante da carroceria do ônibus Caio Induscar, através do Sr. Daniel do setor de pós-vendas, com o fabricante do conjunto chassis- motor Mercedes Benz, através da central de relacionamento do cliente. Informações técnicas do veículo S10 foram obtidas diretamente do site do fabricante Chervrotet do Brasil<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.chevrolet.com.br/servicos/manuais-veiculos.html>

### 3. DO LOCAL DO ACIDENTE

O acidente ocorreu no dia 19/05/2007 às 17h e30 min no km 192 da SP-079 Rodovia Tenente Celestino Américo.



Figura 1- Vista por satélite do local do acidente extraído do Google Earth.



Figura 2 – Detalhe do local do acidente

A pista é simples nesse trecho da rodovia e possui mão dupla de direção, em trecho sinuoso entre montanhas, sem acostamentos em ambos os sentidos. Nas proximidades do sítio de colisão a pista possui um leve aumento em sua cota, acarretando um aclive com inclinação de aproximadamente 4,8° e posteriormente um declive de aproximadamente entre 1,5° para quem segue sentido Norte, ou seja, de Juquiá para Tapiraí.

O asfalto da capa de rolamento encontrava-se em boas condições quando do acidente, evidenciado pelas fotos encaminhadas a este signatário. Atualmente possui um desgaste natural com pequenas fissuras, causadas pelo tráfego intenso.

A sinalização horizontal que separa as duas faixas de trânsito é composta por linha dupla contínua, (LFO-3). Essa linha divide fluxos opostos de circulação, delimitando o espaço disponível para cada sentido e regulamentando os trechos em que a ultrapassagem e os deslocamentos laterais são proibidos para os dois sentidos, exceto para acesso a imóvel lindeiro. Os limites laterais da pista são delimitados por linhas de bordo (LBO), estabelecendo seus limites laterais em 6,25 metros, conforme medições no local.

A sinalização vertical é composta por placas de curva acentuada a esquerda (A-1a) que advertem sobre a existência, à frente, de curva horizontal acentuada. Deve ser utilizada onde a condição operacional segura para percorrer uma curva resulta em velocidade menor ou igual a 40km/h e esta é inferior à velocidade máxima regulamentada na via. Possui, ainda, marcadores de alinhamento (MA) que indicam e ressaltam ao usuário alterações no alinhamento horizontal da rodovia, bem como um guard-rail do lado externo da curva.

A velocidade máxima de via também é regulamentada por sinalização vertical (R19) de **40 km/h** quase em todo trecho da rodovia onde atravessa a região montanhosa

A figura 3 ilustra a disposição da sinalização horizontal existente, conforme Resolução N.º 236, de 11/05/2007 do CONTRAN, que aprova o Volume IV – Sinalização Horizontal, do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, bem como as inclinações dos aclives e declives no trecho

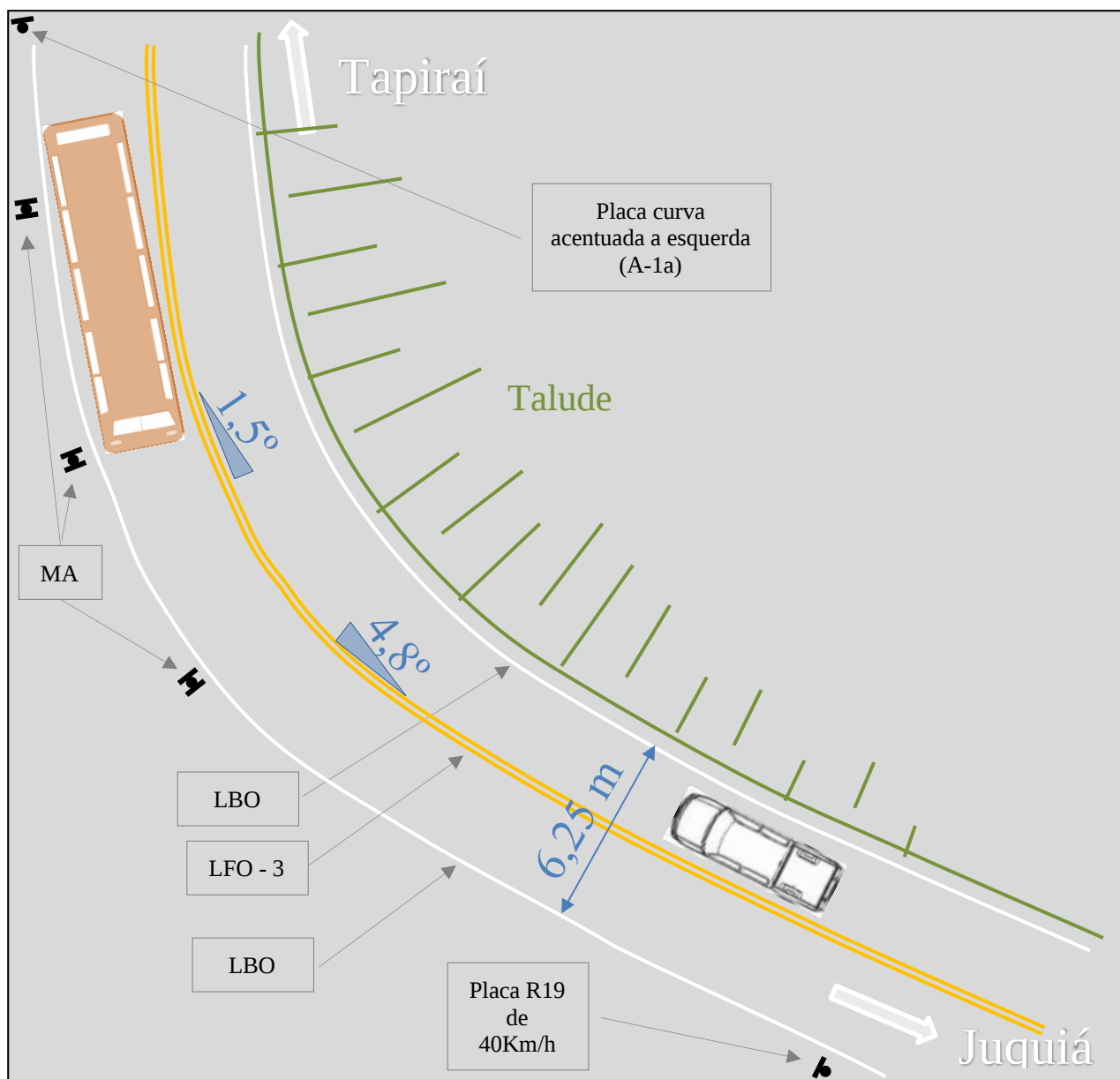
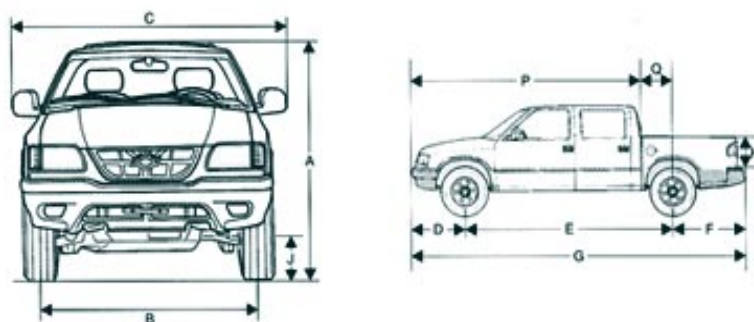


Figura 3 – Sinalizações horizontais e verticais no local do acidente levantadas pelo signatário.

## 4. DOS VEÍCULOS ENVOLVIDOS

### 4.1. Veículo do Corrêu Com. e Serviços Florestais Ltda (Veículo 1)

Trata-se de um veículo de marca GM modelo S10 picku-up 2,8 CD 4x4, cabine dupla, ano de fabricação 2003, modelo 2004, cor branca, movido a diesel, conduzido pelo Sr. José.



| DIMENSÕES GERAIS DO VEÍCULO (em mm) - CABINE DUPLA |                                                                         |      |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------|
| A                                                  | Altura total (veículo descarregado)                                     | 1640 |
| B(1)                                               | Bitola dianteira                                                        | 1454 |
| B(2)                                               | Bitola traseira                                                         | 1399 |
| C                                                  | Largura total (espelho a espelho)                                       | 2010 |
| J                                                  | Vão livre (veículo carregado)                                           | 160  |
| D                                                  | Distância entre o centro da roda dianteira e o pára-choque dianteiro    | 881  |
| E                                                  | Distância entre eixos                                                   | 3122 |
| F                                                  | Distância entre o centro da roda traseira e o pára-choque traseiro      | 1162 |
| G                                                  | Comprimento total                                                       | 5165 |
| H                                                  | Altura do chão à borda                                                  | 430  |
| K                                                  | Comprimento total interno                                               | 1477 |
| L                                                  | Largura entre as caixas de rodas                                        | 1002 |
| M                                                  | Largura do vão da porta                                                 | 1322 |
| P                                                  | Comprimento da cabine                                                   | 3424 |
| Q                                                  | Distância entre o centro da roda traseira à parede dianteira da caçamba | 563  |
| R                                                  | Largura interna da caçamba                                              | 1438 |

Tabela 1- Quadro de dimensões externas do veículo S10 (extraídos no manual do veículo)

#### 4.1.1. Exposições fotográficas



Foto 1 – Vista da S10 sendo retirado pelo guincho (foto enviada pela E.P.C de Registro)



Foto 2 – Vista da S10 após o acidente, detalhe das deformações no setor angular anterior esquerdo, na altura do terço médio (foto enviada pelo Assistente Técnico).



Foto 3 – Vista do teto todo deformado



Foto 4 – Vista do setor angular posterior esquerdo totalmente deformado.

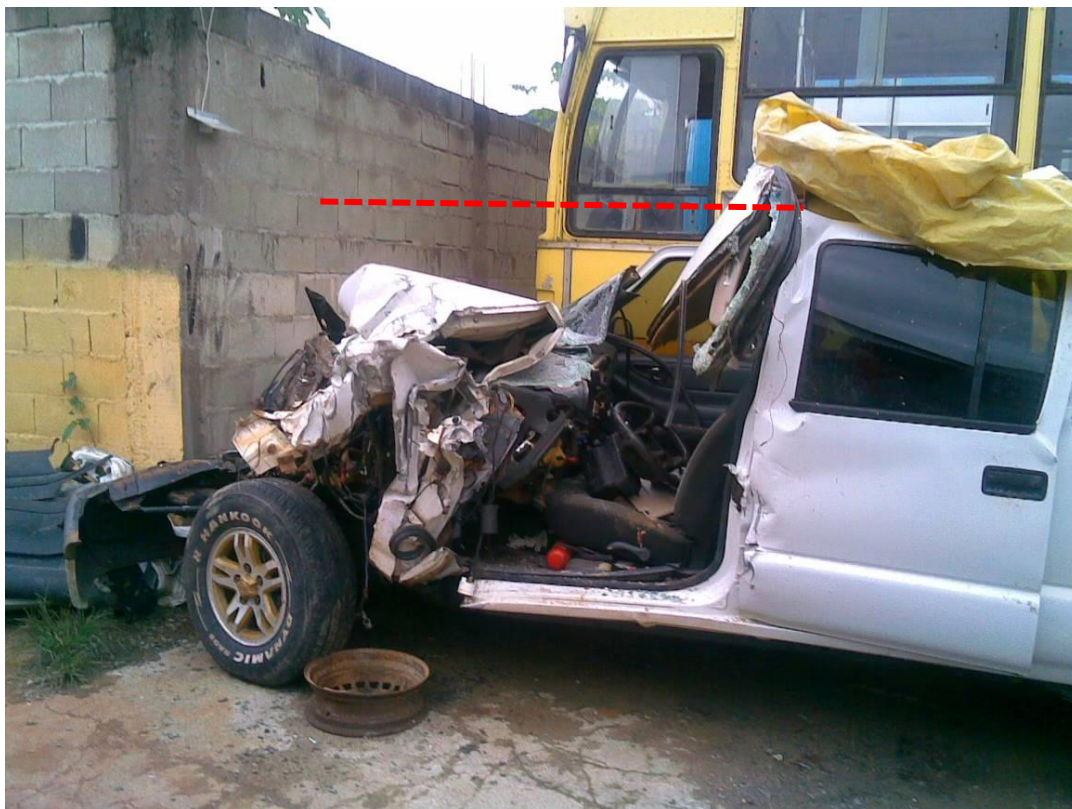


Foto 5 – Vista do teto com da S10 e atrás um ônibus semelhante. Detalhe da altura entre o teto e a coluna do para-brisa do ônibus.



Foto 6 – Vista do setor lateral posterior direito.

#### 4.1.2. Topologia das deformações

Para efeito de localização das sedes dos danos, divide-se os veículos em setores. No caso do veículo S10, pelas fotos obtidas, verifica-se que o setor mais atingido, com deformações graves, foi o setor angular anterior esquerdo, se estendendo da coluna dianteira esquerda, passando pelo setor anterior médio, concentradas na altura do terço médio do veículo. Além dessas deformações no setor anterior, o teto também apresenta deformações, representadas na figura 5, com afundamento e destruição da coluna posterior esquerda.

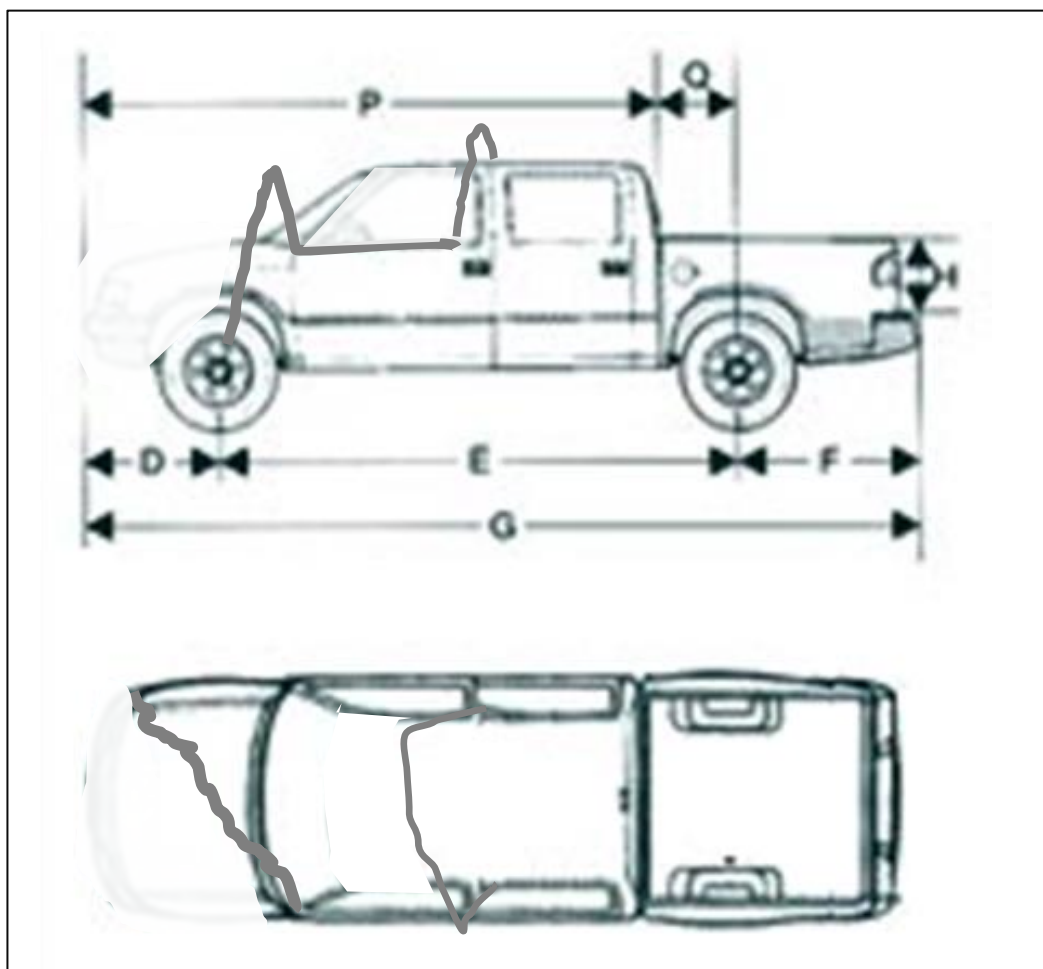


Figura 4 – Ilustração da topologia das deformações com base nas fotos.

#### 4.1.3. Orientações das deformações e direção principal da força (DPF).

Durante uma colisão entre veículos, desde o primeiro contato até a separação, considera-se que as forças exercidas no plano de colisão dos veículos estejam concentradas num determinado ponto podendo apresentar uma resultante numa direção prevaiente, representada pela DPF, direção principal da força

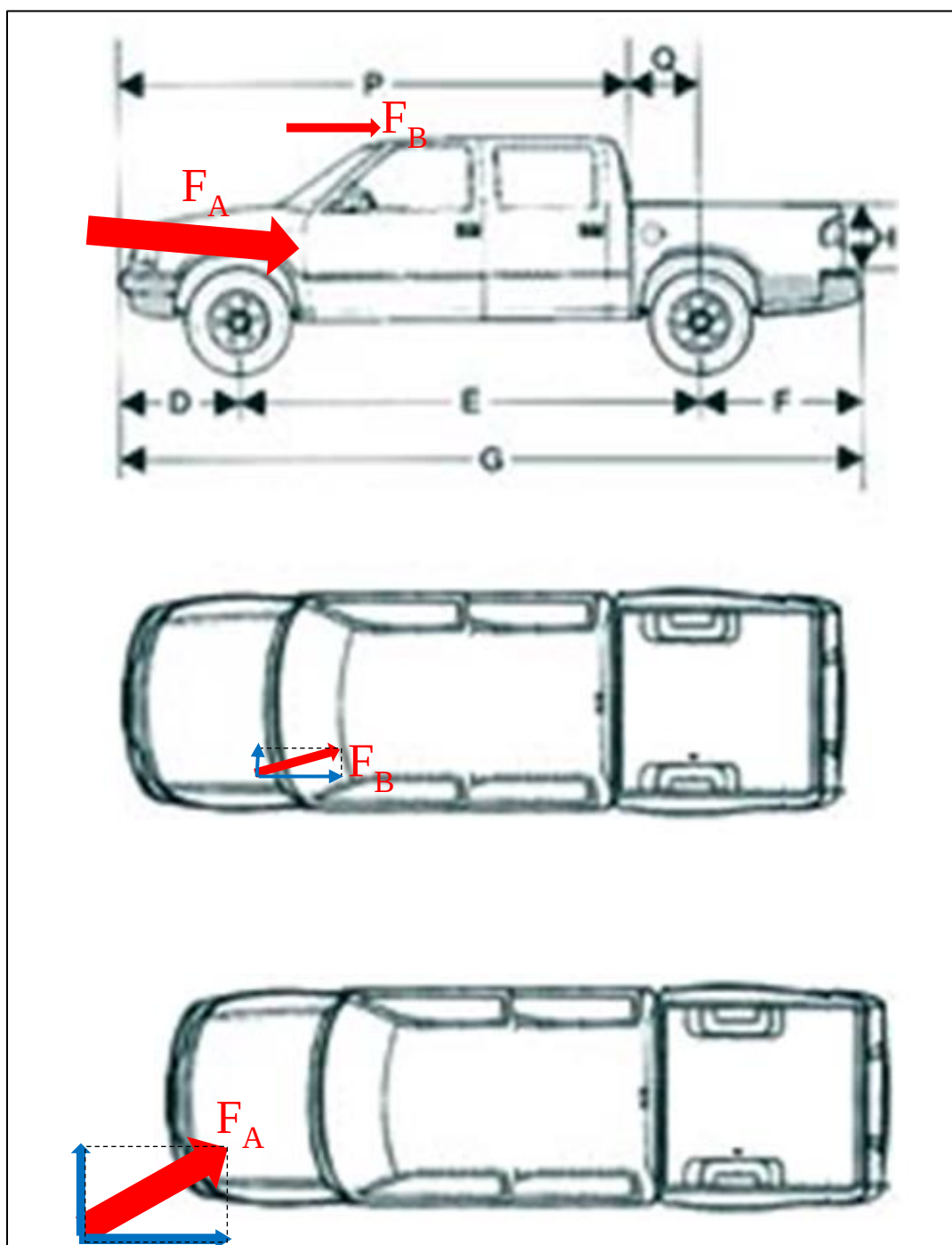


Figura 5 – Direção principal da força

#### **4.2. Veículo do Corréu Viação (Veículo 2)**

Trata-se de um ônibus urbano com carroceria de fabricação Caio, modelo Vitória e conjunto chassis motor de fabricação Mercedes Benz, modelo OF 1318, ano 1992, cor branca, com motor diesel, conduzido pelo Sr. Márcio.

##### **4.2.1. Exposições fotográficas**



Foto 7- Local de imobilização do ônibus (foto enviada pela E.P.C. de Registro).



Foto 8 – Vista do setor angular posterior esquerdo do veículo 2 (fotos enviadas pelo assistente técnico).



Foto 9 – Detalhe das deformações no setor angular posterior esquerdo na altura do terço interior, e arrancamento de parte da lateral anterior esquerda no terço médio e detalhe da deformação na coluna dianteira esquerda no terço superior

#### 4.2.2. Orientações das deformações e direção principal da força (DPF) .

As forças exercidas no plano de colisão do ônibus estão representadas pela direção principal da força (PDF) indicadas na figura 6.

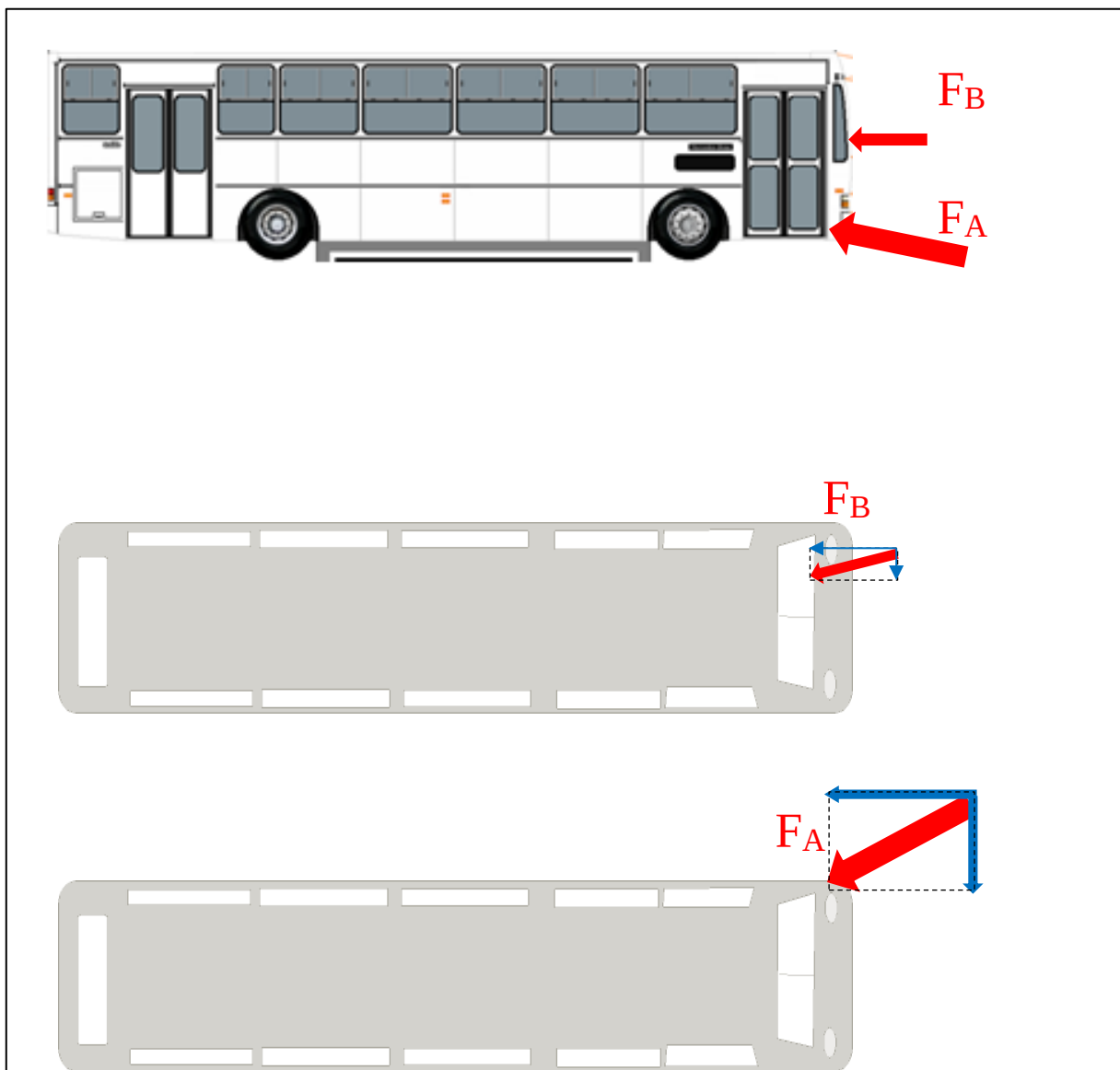


Figura 6 – Direção principal de força de deformação

#### 4.2.3. Da Velocidade do ônibus obtida pelo Tacógrafo

Os tacógrafos exibem a velocidade do veículo, a distância percorrida, as horas e a ultrapassagem de uma velocidade pré-ajustada através de uma lâmpada de advertência e registram num disco gráfico a curva de velocidade, as horas de viagem, os tempos de paradas e as distâncias percorridas (figura 9). Os discos gráficos podem ser interpretados por meio de avaliação visual, eletrônica ou microscópica. A avaliação por microscópio permite uma precisão de metros e segundos que podem ser registrados em um gráfico distância/tempo para reconstruir precisamente a evolução de um acidente.

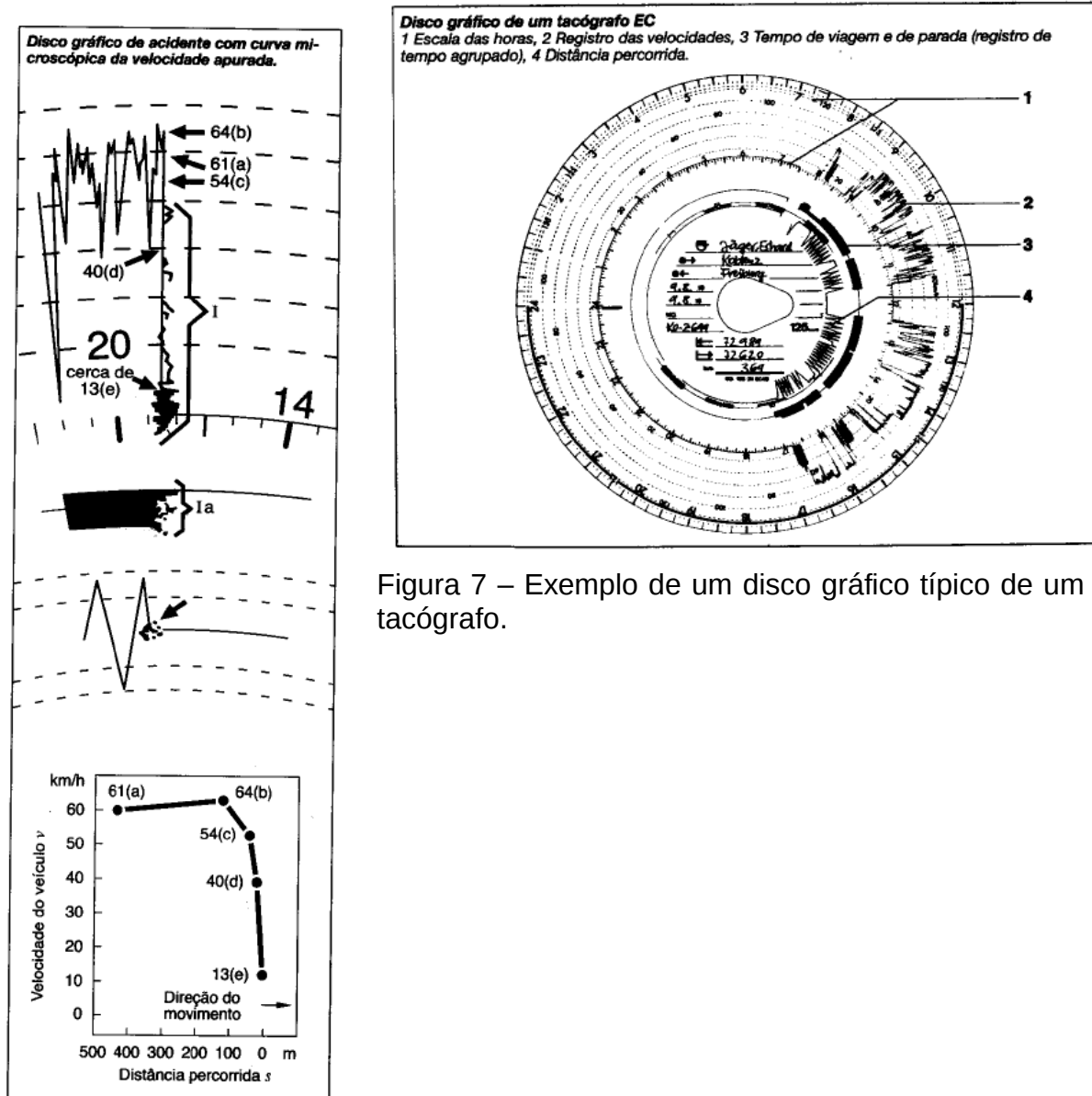


Figura 8 –Reconstrução de gráfico para evolução de acidentes em disco gráfico típico de tacógrafo (exemplo).

O signatário não teve acesso ao disco de tacógrafo do veículo em questão para uma análise mais precisa, mas o laudo n.º 1728/07 da E. P. C de Registro, permite boas conclusões sobre a velocidade do ônibus. Veja-se parcial transcrição do laudo:

*"DO DISCO-DIAGRAMA E DO EXAME: O disco-diafragma acoplado no tacógrafo é de papel especialmente produzido para receber a impressão dos três estiletes daquele aparelho que registram a hora da partida e chegada, o tempo gasto na viagem, se parou e quantas vezes durante a viagem, o tempo exato gasto do percurso, as velocidades atingidas a cada instante do percurso, e, no caso de acidentes qual a hora e velocidade no momento do impacto sofrido.*

*No tacógrafo do ônibus havia um disco-diafragma para 24 horas, da marca VDO, estando o disco com os seguintes lançamentos manuscritos: "Márcio", "Capuava", "19.05.07". Na sua leitura pode-se observar a descontinuidade nos registros do estilete da velocidade, indicada aproximadamente por volta de 55 km/h decrescendo até a velocidade em torno de 14,3 km/h, quando o horário indicado era 17:38h aproximadamente.*

*Como a descontinuidade no registro da velocidade é típica da ocorrência de forte impacto, conclui o signatário que a velocidade que desenvolvia o ônibus quando colidiu com o automóvel era de aproximadamente 55 km/h, e de 14,3 km/h quando ocorreu a precipitação."*

Assim, no presente estudo a velocidade do ônibus no momento do acidente será considerada em **55 km/h**.

## 5. DINÂMICA DO ACIDENTE

### 5.1. Versão dos peritos do Instituto de Criminalística

O Laudo n.º 1.728/07 de 11 de julho de 2007, elaborado pela Equipe de Perícias Criminalísticas de Registro, descreve a dinâmica como segue:

*“DO LOCAL: A rodovia supra citada nas cercanias do local do acidente é constituída de pista única, com duas faixas de rolamento e com duplo sentido de tráfego (Tapiraí/Juquiá e Juquiá/Tapiraí), sem acostamento, desenvolvendo-se me ligeira curva para esquerda e seguida de curva para a direita, em declive para quem trafega sentido Juquiá. O leito carroçável da pista era por ocasião da vistoria constituída de lençol asfáltico em bom estado de conservação; possuindo no centro eixo longitudinal da pista, além de “olhos de gato”, duas faixas pintada da cor amarela, impedindo a ultrapassagem em ambos os sentidos, e com vestígios de faixa que eram pintdas da cor branca e que delimitariam a extremidade direita das faixas de rolamento. O sítio da colisão se dera no espaço físico reservado à faixa de rolamento de quem trafega sentido Tapiraí/Juquiá, determinado pela presença de vestígios desprendidos dos veículos colidente, conforme ilustra croqui anexo (figura 9).*

*Trafegava o veículo S-10 de placas através da rodovia supracitada sentido Juquiá/Tapiraí, quando na altura do km 192, por não conseguir controlar o veículo em sua faixa de rolamento, ou por motivos que fogem ao campo pericial, veio a invadir o espaço físico da faixa de rolamento sentido oposto à sua (Tapiraí/Juquiá) na qual trafegava o ônibus de placas..... O veículo S-10 colidiu com o terço médio de sua região dianteira com o “canto anterior esquerdo do ônibus, o ônibus veio a subir na S-10 com o seu rodado dianteiro esquerdo e depois de atravessar a pista veio a imobilizar-se em talude de aterro adjacente a pista. Portanto deu causa ao acidente o veículo S-10 de placas....”*

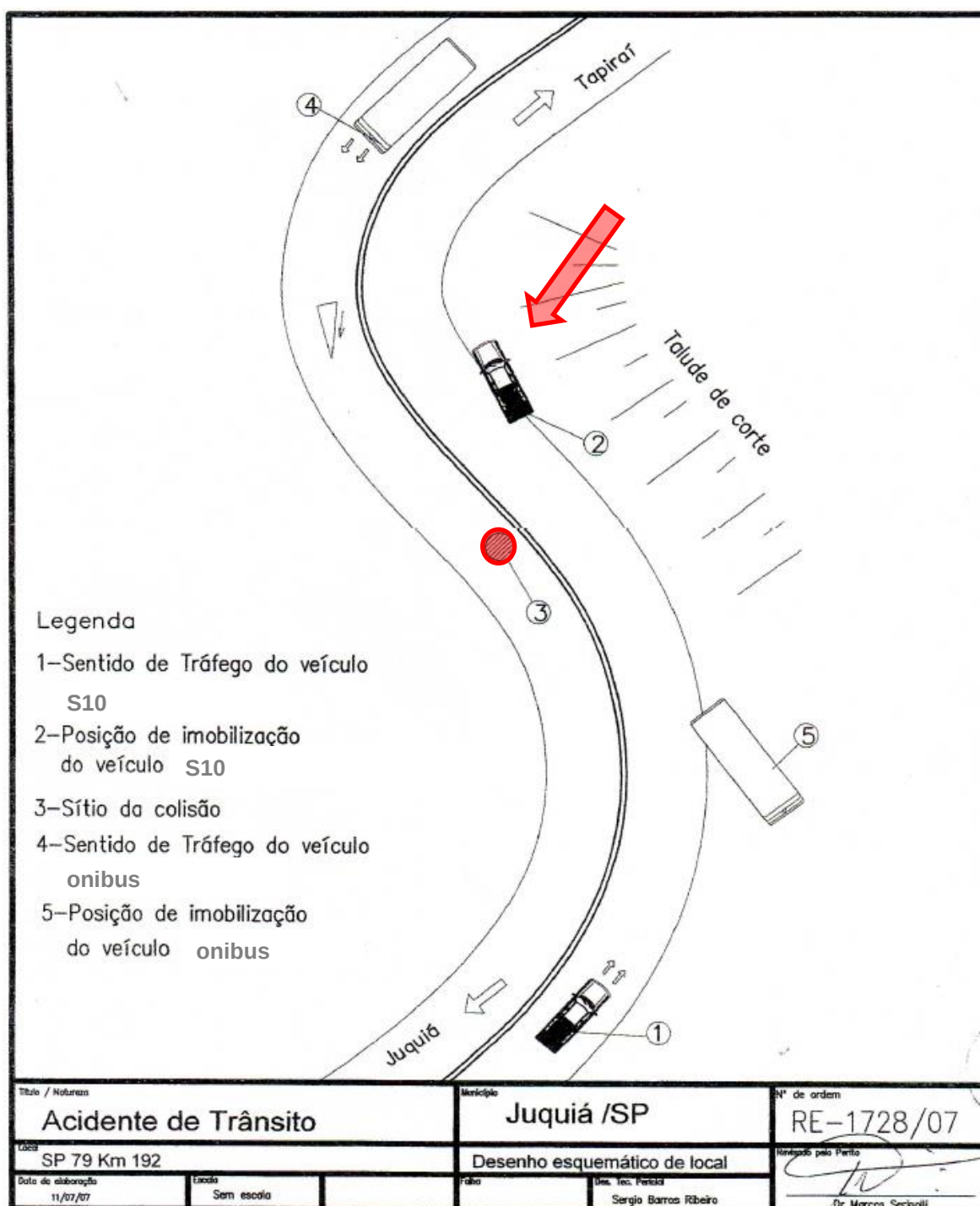


Figura 9 – Cópia do croqui que acompanha o primeiro laudo da E.P.C de Registro.

Nota-se que o sítio de colisão foi indicado na pista onde o ônibus transitava e que a imobilização da camionete ocorreu após o embate, ou seja, o veículo S10 invadiu a pista contrária e após o embate ainda seguiu sua trajetória até sua completa imobilização. Não foi informada nenhuma medida relativa de distância entre as posições de imobilização dos veículos após o embate e a posição do sítio de colisão.



Foto 10 – Vista do suposto local do sítio de colisões e imobilização do veículo S10 (foto enviada pela E.P.C de Registro que acompanha o laudo n.º 1780/07)

Pela foto não é possível verificar com exatidão onde ocorreu o sítio de colisão, embora os peritos afirmem no laudo que *“ O sítio da colisão se dera no espaço físico reservado à faixa de rolamento de quem trafega sentido Tapiraí/ Juquiá, determinado pela presença de vestígios desprendidos dos veículos colidente, conforme ilustra o croqui anexo”*

Após um ano e meio da elaboração do laudo n.º 1780/07 a E.P.C de Registro preparou laudo complementar de acidente de trânsito n.º 2789/08, atendendo à requisição da Delegacia de Polícia de Juquiá, para responder indagações da Promotoria de Justiça daquela Comarca, conforme transcrição parcial a seguir:

**“DA RESPOSTA AOS QUESITOS:**

**1º Quesito:**

*Foram um conjunto de razões, a análise de um todo, que determinaram a conclusão do Laudo de n.º 1728/07.*

*Primeiramente por esta Equipe estar presente no local dos fatos logo após o acontecido, ainda quando os veículos se encontravam no sítio de imobilização, o que facilitou a verificação dos vestígios deixados na pista pelos veículos colidentes, na faixa de rolamento de quem trafega sentido Tapiraí/Juquiá, conforme relatado no laudo de n.º 1728/07 e analisando os itens abaixo:*

*1. A posição de imobilização dos veículos colidentes levando-se em consideração a massa dos mesmos;*

2. A pista molhada e ocorrência de chuva, quando do exame;
  3. A velocidade máxima permitida ser de 40 km/h;
  4. A configuração dos danos sofridos pelos veículos;
  5. A falta de visualização da pista, não permitindo o alcance visual e diminuindo o raio de curvatura da mesma para quem trafega sentido Juquiá/Tapiráí;
  6. O traçado da pista, que faz com que qualquer veículo que viesse com velocidade acima da permitida, sentido Juquiá/Tapiráí encontraria condições desfavoráveis para efetuar a curva à direita ao chegar no “top” do aclive;
  7. A colisão com o ônibus não ter sido frontal, e sim oblíqua em seu flanco anterior esquerdo, pois o para-choque dianteiro do ônibus permaneceu praticamente intacto;
  8. O amolgamento sofrido pelo para-choque dianteiro do ônibus que foi parcialmente realizado pela colisão lateral e posteriormente provocado pela precipitação do ônibus em talude de aterro;
  9. Inexistência de vestígios no veículo S-10 provocados por choque contra o talude em seu flanco direito;
  10. A velocidade do ônibus no momento do impacto pode ser mensurada, pois o mesmo era equipado com tacógrafo, (V= 55 km/h);
- Com base nas evidências apresentadas pode-se inferir que a S-10 invadiu a faixa de rolamento sentido oposto à sua, causando o acidente.

2º Quesito:

Como o veículo S-10 não é dotado de equipamento do tipo tacógrafo, não possuímos elementos para calcular a velocidade que o veículo imprimia no momento da colisão, muito embora, pelo montante dos danos, da deformação sofrida pelos veículos, por comparação com acidentes similares já atendidos por esta equipe de perícias pode-se inferir que o veículo S-10 imprimia uma velocidade acima da velocidade permitida.

Das Considerações:

Esta conclusão foi determinada por elementos reais, a perícia não pode se basear em dados estatísticos, pois numa mesma pista, o conjunto de atores tornam a situação singular e por isso devem ser analisadas caso a caso. Acompanham este laudo quatro fotografias para melhor elucidar o caso.”

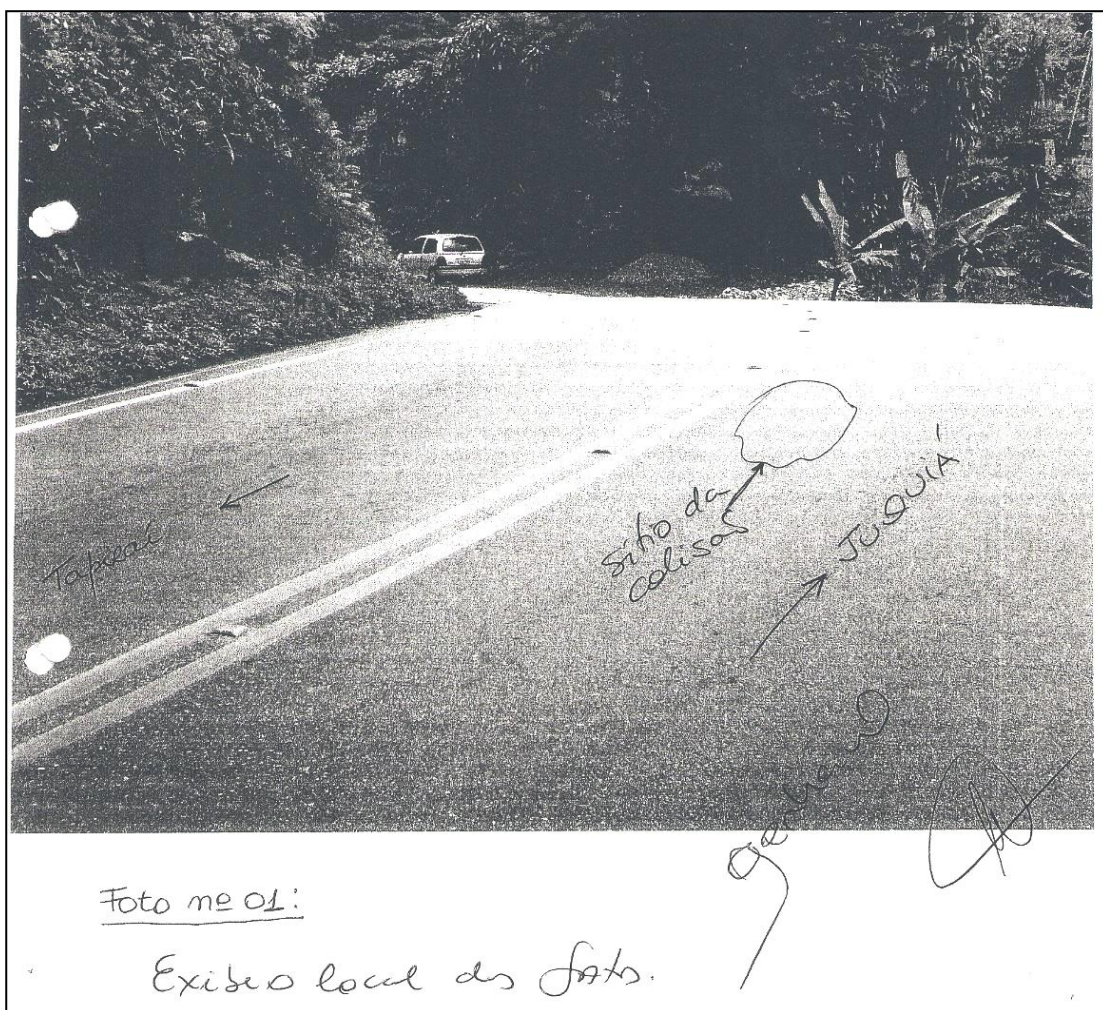


Figura 10 – Cópia da foto que instrui o laudo n.º 2789/08 elaborado pela E.P.C de Registro.

A foto do sítio de colisão em questão (figura 10) foi tirada quando da elaboração do segundo laudo da equipe do IC (n.º 2789/08), após um ano e meio da ocorrência dos fatos, o que impossibilita qualquer evidência de marcas eventualmente deixadas quando do embate.

A equipe concluiu ainda, com base no montante dos danos, da deformação sofrida pelos veículos, por comparação com acidentes similares atendidos por aquela equipe, inferiram que o veículo S-10 imprimia uma velocidade acima da velocidade permitida.

## 5.2. Versão do Assistente Técnico

O Assistente Técnico indicado pela corrê Com. e Serviços Florestais Ltda. apresentou Laudo Técnico Crítico, alegando que os peritos criminais se equivocaram na interpretação do acidente, que as avarias em ambos os veículos descritas naquele laudo encontram-se orientadas da esquerda para direita, apresentando estudos próprios sustentando o contrário; que o posicionamento dos veículos após o embate também não sustenta a tese de que o veículo S10 tenha invadido a faixa de rolamento do veículo ônibus.

Ainda segundo sua versão, “Em função da descrição apresentada no laudo pericial do INSTITUTO DE CRIMINALÍSTICA, o impacto local indicado no veículo S10, provocaria a rotação do veículo, conforme representado na figura 11, dada a massa do veículo ônibus e do posicionamento do centro de gravidade do veículo S10. O sítio de imobilização provável dos veículos nessas condições seria outro, conforme representação.”

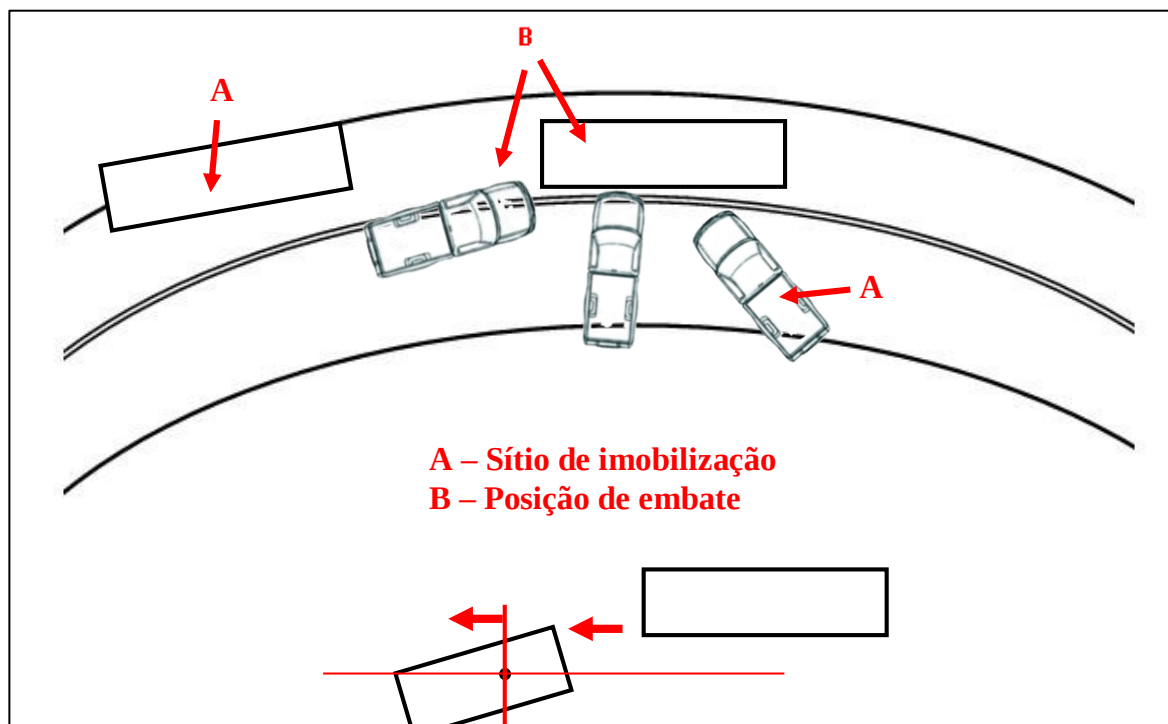


Figura 11 – Representação do sítio de imobilização (A) dos veículos, caso a caminhonete tivesse invadido a faixa do ônibus.

Nota-se que o sítio de colisão também foi indicado entre as posições finais de imobilização, com rotação do veículo S10, o que não se verificou no local.

Em seguida apresenta sua versão mais lógica com base nas deformações apresentadas nos veículos e a posição de imobilização:

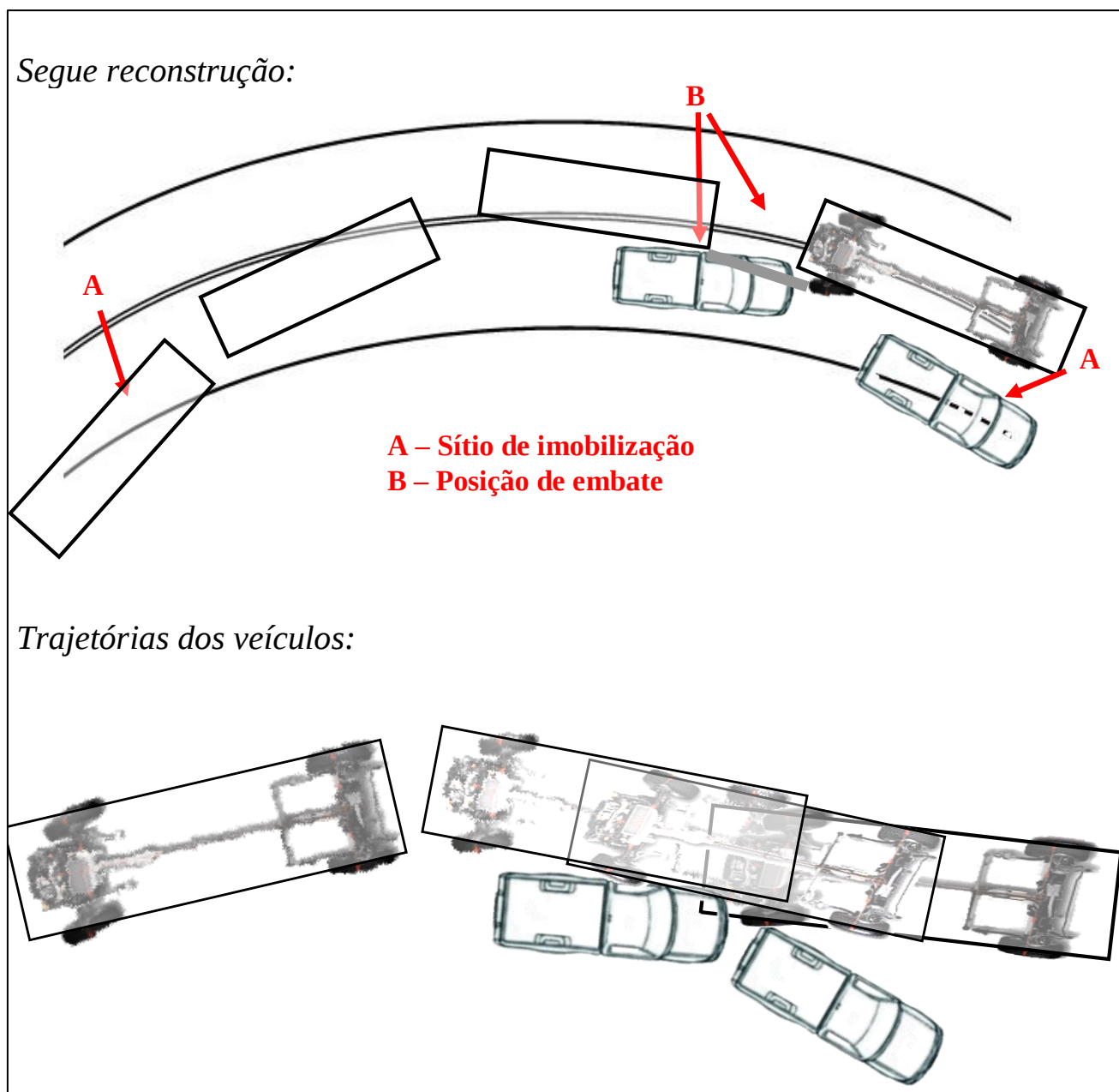


Figura 12 – Cópia do croqui do laudo técnico da GAPE

Verifica-se que, na versão do Assistente Técnico da corre, o ônibus invadiu a faixa e veio a colidir com o veículo S10. Também indicou que o sítio de colisão, indicado pelo ponto B, ficou entre as posições de imobilização final dos veículos, pontos A, porém na pista onde trafegava a caminhonete.

## 6. ANÁLISE DA DINÂMICA DO ACIDENTE

A determinação de velocidades de veículos envolvidos em acidentes de trânsito depende de vários fatores o que torna difícil sua identificação com exatidão, principalmente quando o local do acidente não preserva mais as condições necessárias para coleta de dados e medições. Um levantamento detalhado do local logo após sua ocorrência permite uma perícia direta, ou seja, uma perícia onde o local foi preservado e isolado a contento e os veículos não foram removidos da posição de repouso original.

Um levantamento do local de acidente pode ser dividido em três fases, a saber: levantamento de dados da via, da posição dos veículos e elementos relacionados com o acidente em questão; levantamento de dados dos veículos e, finalmente, o levantamento de dados dos condutores e proprietários dos veículos com a respectiva oitiva de cada envolvido, se for possível.

Embora seja comum o interesse das partes em dar sua versão do ocorrido, o estudo e a dinâmica do acidente de trânsito deve ser baseado nos vestígios levantado no local, servindo os depoimentos como norteador quando o acidente for de grande complexidade ou por falta de vestígios.

Assim, um dos aspectos básicos da perícia de acidente de trânsito está relacionado com o princípio da observação. Importante destacar que não há condições de demarcar na pista um ponto preciso de colisão. Tal observação se deve ao fato de que o sítio de colisão compreende uma área na pista onde houve o embate entre os veículos. O prolongamento de marcas de frenagem, derrapagem e de fricção são elementos que auxiliam a demarcação do sítio de colisão.

No presente caso, encontram-se disponíveis dois croquis elaborados pelas autoridades policiais e periciais (figura 9) que fizeram a perícia direta no local, porém ambos são omissos quanto a qualquer medida sobre as posições de imobilização dos veículos e o sítio de colisão, o que dificulta uma reconstituição mais apurada.

Para suprir essa deficiência, este signatário tomou o depoimento dos dois condutores dos veículos envolvidos que foram unânimes em indicar uma região na pista onde ocorreu o embate, exceto a faixa em que se deu a colisão, para não criar polêmicas. Também foi possível indicar em campo, a posição onde os veículos foram imobilizados após o embate em relação ao sítio de colisão informado pelos condutores, possibilitando suas medidas no local.

Assim, conforme o depoimento do Sr. José e Márcio, o veículo S10, após o embate, não continuou sua trajetória em sentido de Tapiraí, mas retornando em marcha ré, em sentido contrário, numa distância de aproximadamente 4,0 m, se imobilizando no canteiro à beira da pista. Por sua vez, o ônibus, após o embate, continuou sua trajetória em sentido para Juquiá, percorrendo trecho de 20 metros pelo asfalto e aproximadamente, um metro pelo canteiro lateral até se imobilizar.

### 6.1. Metodologia

De posse dos dados disponíveis como medidas dos pontos de imobilização dos veículos, trajetória do ônibus determinada por sua velocidade apontada no tacógrafo e posição do sítio de colisão, foi possível a aplicação do **princípio da conservação da quantidade de movimento**, que consiste na análise do acidente em três fases distintas, mas interligadas: o momento anterior à colisão, o momento da colisão (interseção entre os veículos), e o momento posterior à colisão. A sequência de

análise a ser seguida é no caminho inverso ao que ocorrerem os fatos que levou ao acidente, ou seja, o método consiste na reconstrução analítica do acidente a partir do momento posterior à colisão até o momento anterior à colisão.

Esse método encontra-se detalhado no Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito, de Lino Leite de Almeida<sup>2</sup>. Como as grandezas envolvidas possuem natureza vetorial, o autor considera para operações dos vetores o método gráfico do princípio da conservação da quantidade de movimento (Método PCQM Gráfico). No presente caso, optou-se em fazer as operações vetoriais de forma analítica, através de relações trigonométricas em detrimento da opção gráfica.

O método é uma análise físico-matemático de uma colisão partindo de valores reais, como massa dos veículos, marcas de frenagem, marcas de fricção, direcionamento do movimento, marcas de sulcagem e de coeficientes de atrito. Determina-se a quantidade de movimento dos dois veículos imediatamente antes da colisão e a quantidade de movimento resultante imediatamente pós-colisão. De posse dessas informações, determina-se a velocidade de ambos os veículos que se encaixaria no modelo físico-matemático proposto, partindo do **princípio da conservação da quantidade de movimento (PCQM)**.

Aplicou-se ainda o **princípio da conservação da energia** nos veículos isoladamente para calcular todas as parcelas de energia dissipadas nos percursos de frenagem, fricção e derrapagem, conforme o tipo e inclinação do pavimento, incluindo a parcela correspondente aos danos apresentados pelo veículo (velocidade de dano).

Ressalta-se que a velocidade de dano equivalente adotada para o veículo S10 foi obtida através da velocidade inicial do ônibus indicada pelo tacógrafo, deixando de ser uma das incógnitas do modelo. No presente caso verificou-se que os danos causados no veículo S10 não foram decorrentes da dissipação de sua energia cinética, já que sua velocidade não era relativamente grande, mas sim em decorrência da energia cinética dissipada pelo ônibus dada a grande diferença entre a quantidade de movimento entre os veículos.

Finalmente, foi aplicado o método de análise do polígono de estabilidade para determinar as velocidades críticas de tombamento e de escorregamento. Conhecida a velocidade do ônibus pelo tacógrafo e sua velocidade crítica de derrapagem para se fazer a curva, determinou-se o raio da trajetória mais provável do ônibus.

---

<sup>2</sup> Vide bibliografia.

## 6.2. Dinâmica do Acidente Segundo Versão do Signatário.

De posse dessas informações e das fotografias juntadas pode-se traçar os croquis apresentado nas figuras 13 a 16, que representam a dinâmicas do acidente.

A trajetória do ônibus foi determinada pela análise do polígono de equilíbrio, a ser apresentado em capítulo posterior, sobre velocidades críticas de escorregamento e tombamento em curvas.

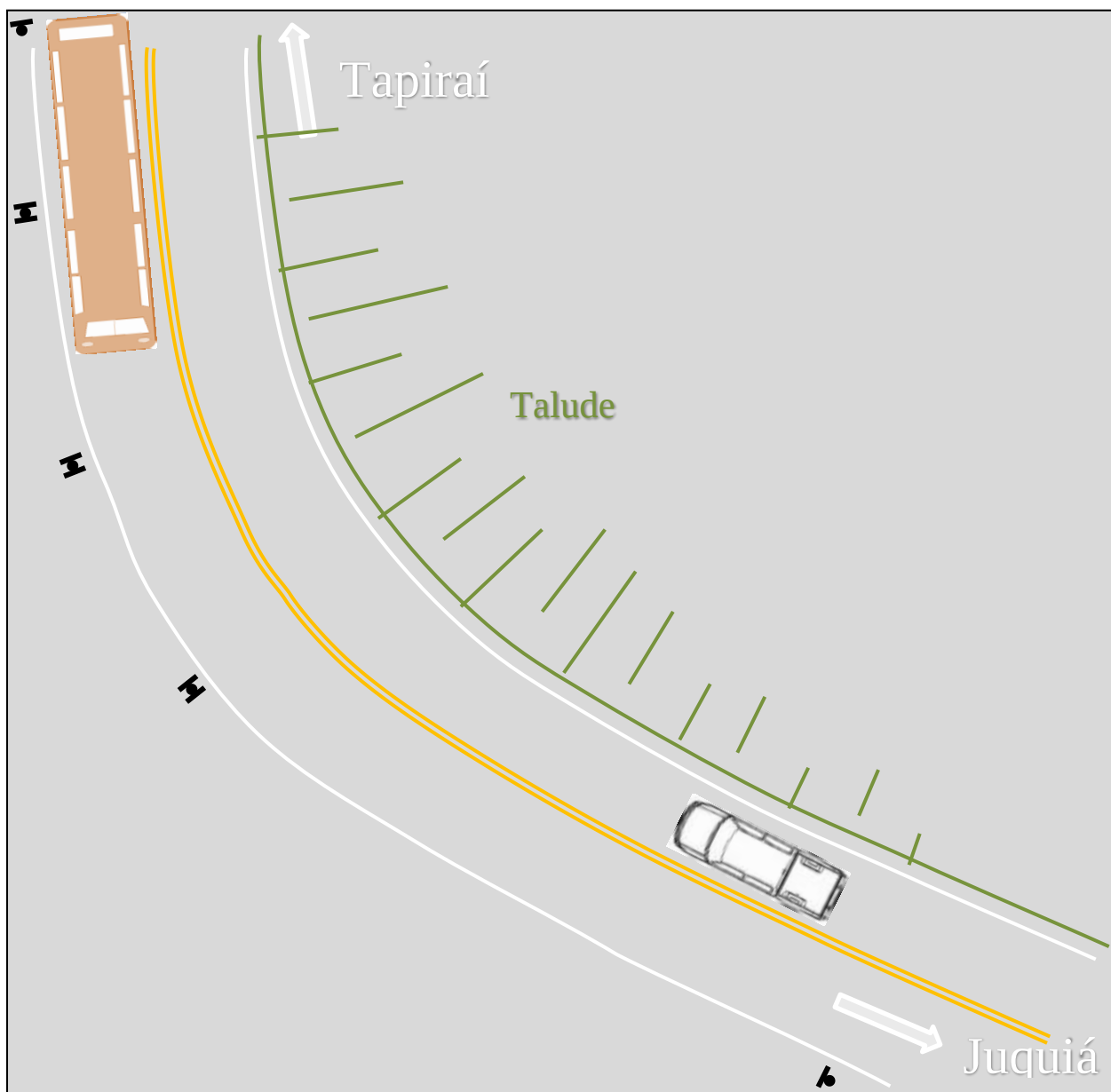


Figura 13 – Aproximação dos veículos em suas faixas.

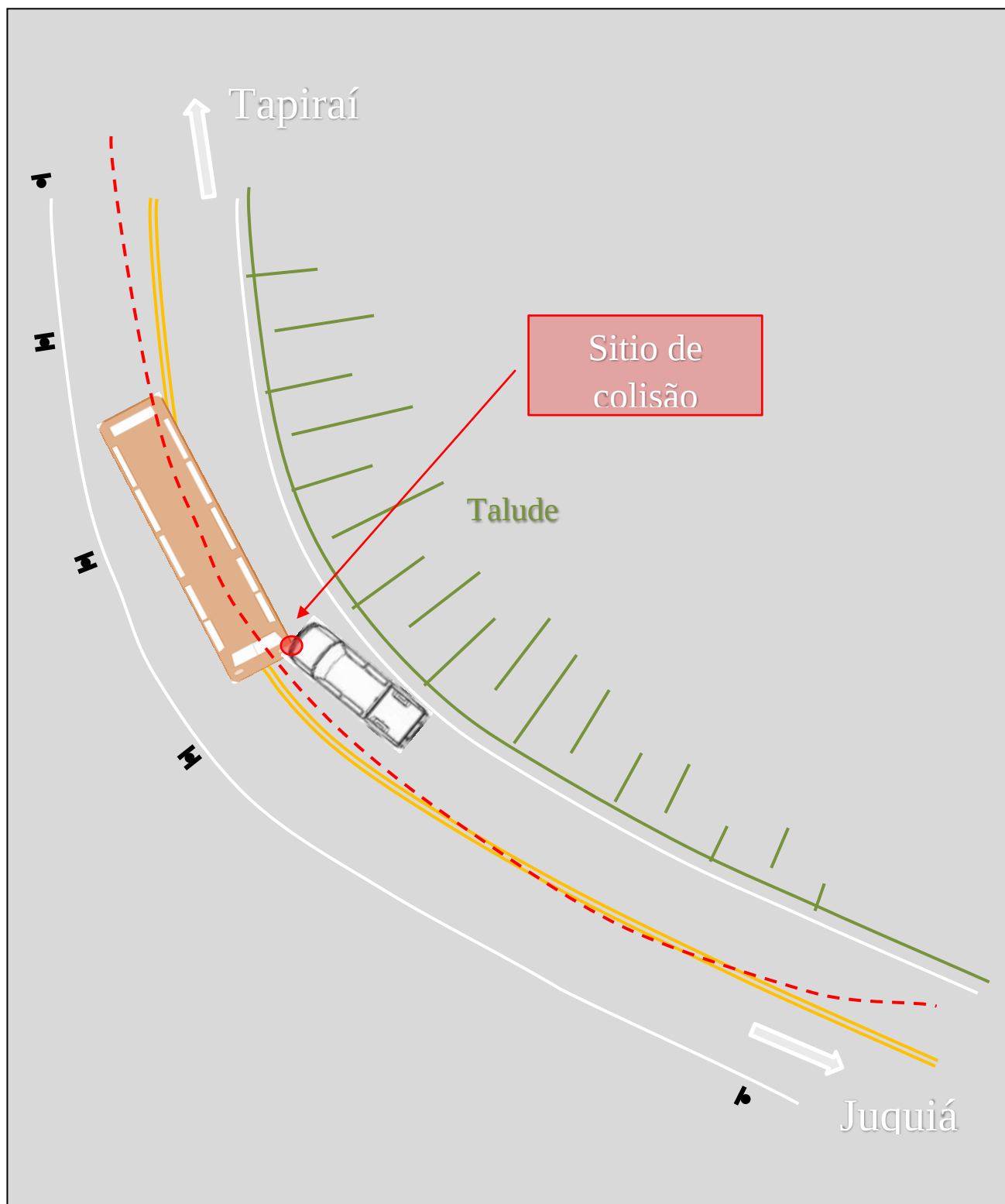


Figura 14 – Local mais provável do sítio de colisão em função da trajetória imposta pela velocidade do ônibus para fazer a curva sem derrapar e sem tombar.

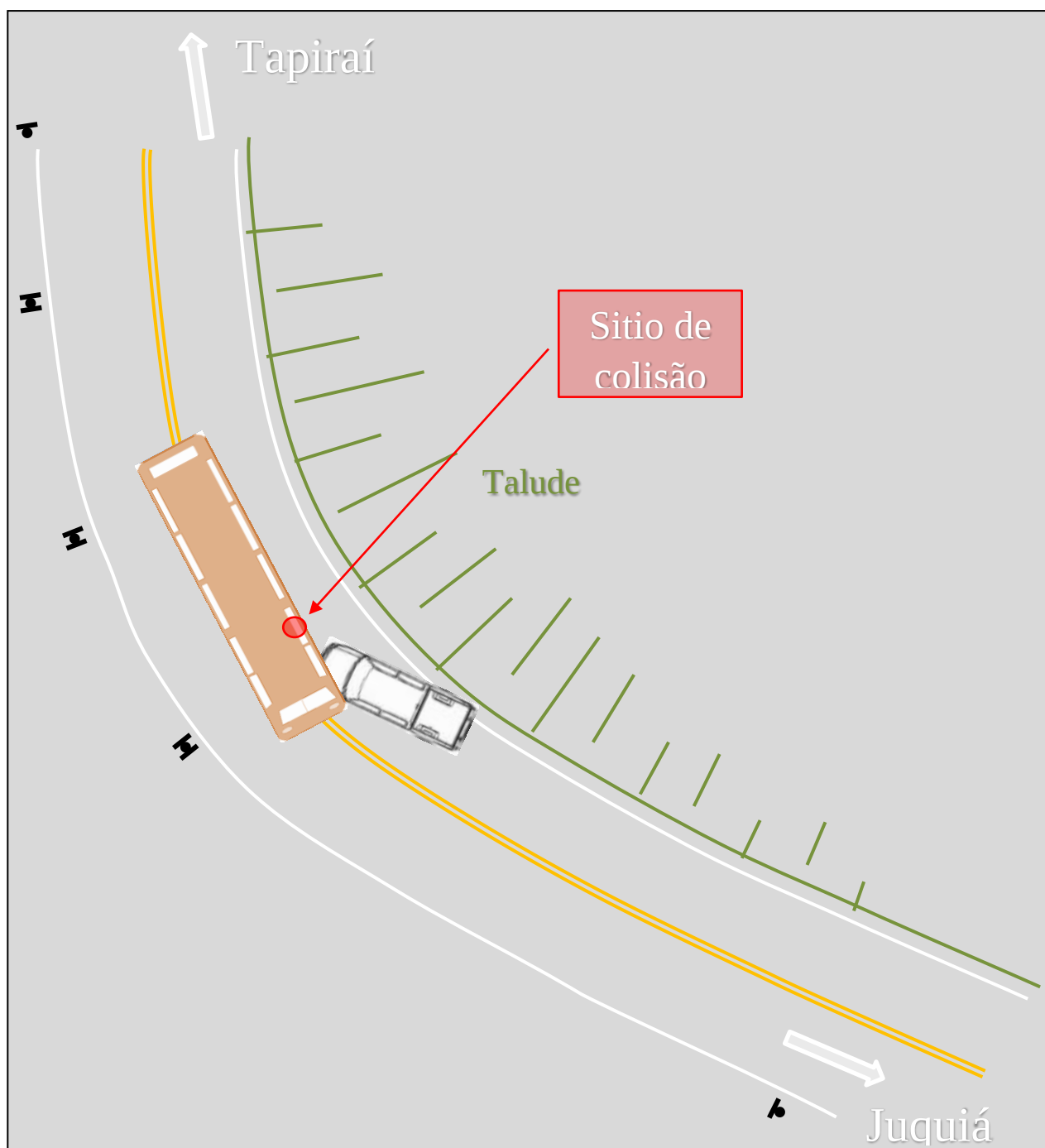


Figura 15 – Após o embate a caminhonete recuou e o ônibus avançou sobre ela tendo em vista sua quantidade de movimento muito maior do que a da S-10.

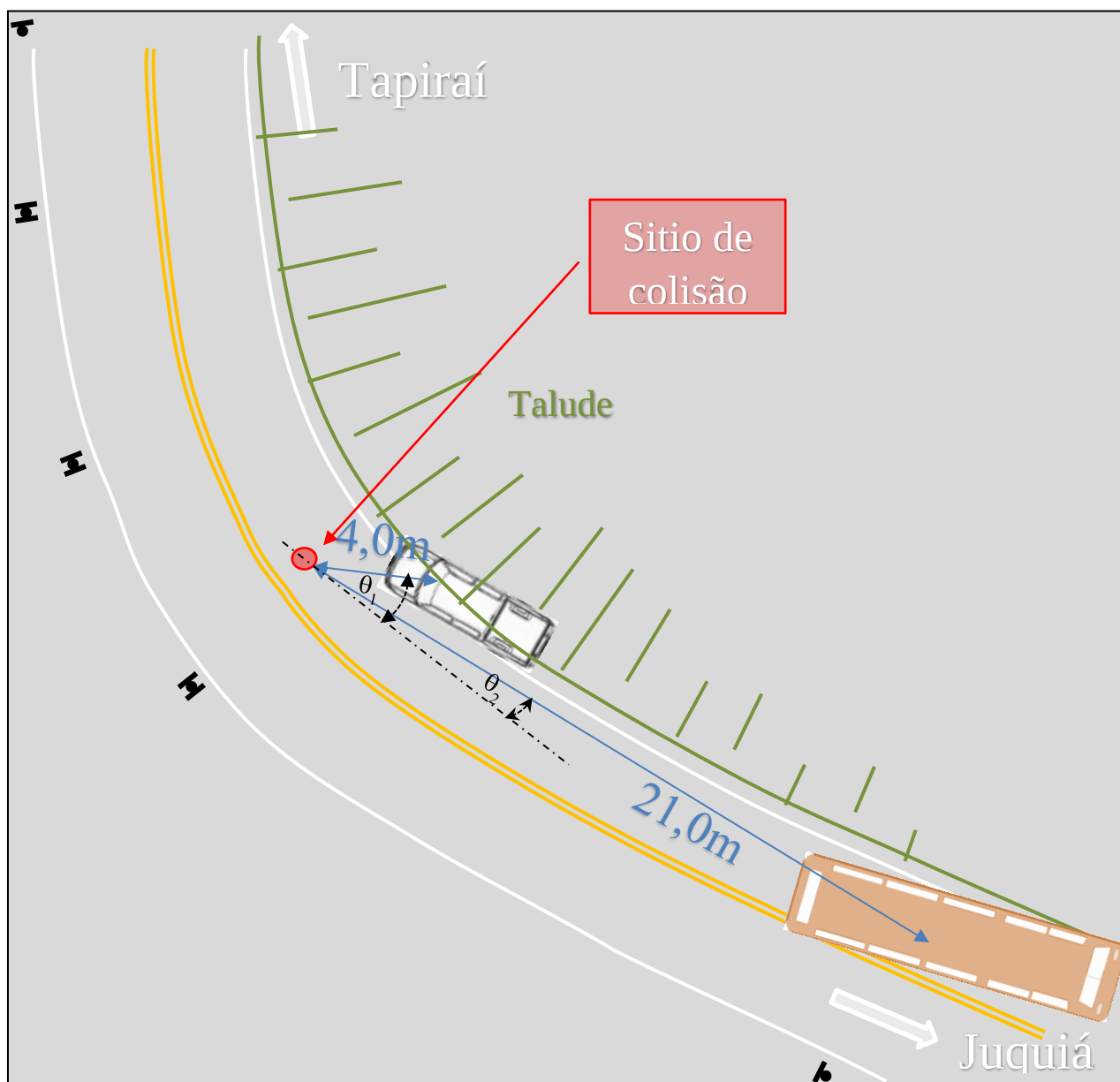


Figura 16 – Posição final dos veículos após o embate. O veículo S10 sofreu uma leve rotação e um recuo de 4,0 metros após a colisão. O ônibus continuou sua trajetória por 22 metros até parar no canteiro do lado oposto.

### 6.3. Cálculos de Velocidades

Baseados nos princípios de conservação de quantidade de movimento, linearização do momento linear e conservação de energia, foi possível determinar a velocidade do veículo S10. Os cálculos e fórmulas físicas foram inseridos em planilha eletrônica para facilitar as diversas operações matemáticas, permitindo realizar diversas simulações, que resultou no melhor modelo que representa a dinâmica dos veículos com os dados disponíveis.

As sequências de tabelas 2 a 10 ilustram os procedimentos adotados com as respectivas fórmulas utilizadas:

| Velocidade final dos veículos logo a após a colisão    |       |                                                                |       |
|--------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------|-------|
| Veículo 1 (S10)                                        |       | Veículo 2 (Onibus)                                             |       |
| K (coef. atrito)                                       | 0,85  | K1                                                             | 0,10  |
| d (m)                                                  | 4,0   | d1 (m)                                                         | 20,00 |
| θ1 (graus)                                             | 54    | θ2 (graus)                                                     | 2,0   |
| g (m/s <sup>2</sup> )                                  | 9,8   | K2                                                             | 0,18  |
| φ (graus)                                              | 4,8   | d2 (m)                                                         | 1,00  |
| V1f(m/s)                                               | 7,75  | V2f(m/s)                                                       | 6,54  |
| V1f(km/h)                                              | 27,90 | V2f(km/h)                                                      | 23,53 |
| $V1f = \sqrt{2 \cdot g \cdot d \cdot (k - \sin \phi)}$ |       | $V2f = \sqrt{2 \cdot g \cdot [d_1 \cdot k_1 + d_2 \cdot k_2]}$ |       |

Tabela 2: Cálculo da velocidade final dos veículos V1 e V2 no trecho após a colisão.

| Quantidade de movimento final dos veículos |           |                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Veículo 1 (S10)                            |           | Veículo 2 (Onibus)         |           |
| m <sub>veículo</sub> (kg)                  | 2.000,00  | m <sub>veículo</sub> (kg)  | 13.500,00 |
| m <sub>condutor</sub> (kg)                 | 140,00    | m <sub>condutor</sub> (kg) | 200,00    |
| m <sub>total</sub> (Kg)                    | 2.140,00  | m <sub>total</sub> (Kg)    | 13.700,00 |
| Qf (kg.m/s)                                | 16.587,37 | Qf (kg.m/s)                | 89.552,32 |
|                                            |           | $Qf = m \times Vf$         |           |

Tabela 3: Cálculo da quantidade de movimento final dos veículos V1 e V2, imediatamente após a colisão

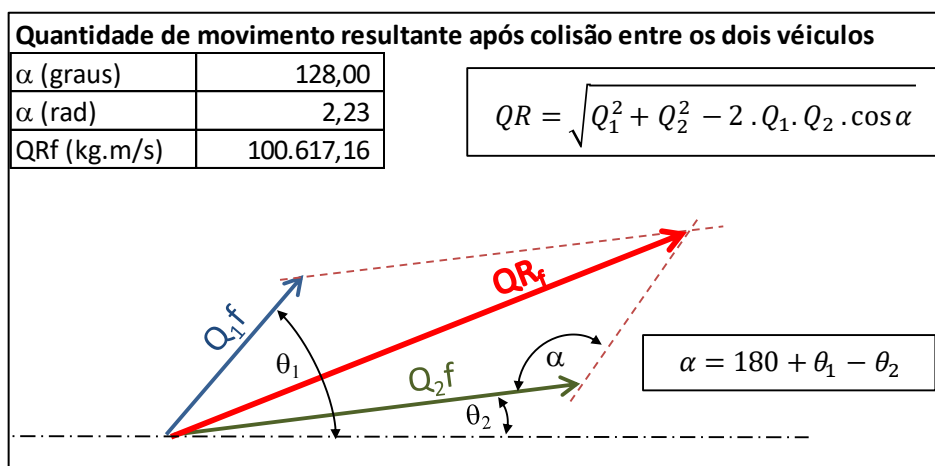


Tabela 4: Representação dos vetores  $Q_{1f}$  e  $Q_{2f}$  conforme suas intensidades e cálculo do vetor resultante por relações trigonométricas.

Ressalta-se que a velocidade de dano equivalente do veículo **S10 (Vd)** foi estimada em **8,0 km/h** (2,22 m/s) em função da velocidade inicial do ônibus, obtida pelo tacógrafo. Os danos causados na S-10 são decorrentes da energia cinética dissipada pelo ônibus no instante do embate, tendo em vista sua quantidade de movimento inicial ser bem maior que a do veículo S-10.

|                              |                 |          |
|------------------------------|-----------------|----------|
| Trecho percorrido            | Veículo 1 (S10) |          |
| Energia dissipada devido aos | Vd (m/s)        | 2,22     |
|                              | Vd (Km/h)       | 8,00     |
|                              | Ed (J)          | 5.283,95 |

$$Ed = \frac{m \times Vd^2}{2}$$

|                                            |                 |           |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------|
| Energia final imediatamente após a colisão | Veículo 1 (S10) |           |
|                                            | Vf (m/s)        | 7,75      |
|                                            | Vf (Km/h)       | 27,90     |
|                                            | Ef (J)          | 64.285,23 |

$$Ef = \frac{m \times Vf^2}{2}$$

|                                                |                 |           |
|------------------------------------------------|-----------------|-----------|
| Energia inicial imediatamente antes da colisão | Veículo 1 (S10) |           |
|                                                | Ei (J)          | 69.569,18 |

$$Ei = Ed + Ef$$

|                                  |                 |       |
|----------------------------------|-----------------|-------|
| Velocidade inicial imediatamente | Veículo 1 (S10) |       |
|                                  | V(ic) m/s       | 8,06  |
|                                  | V(ic) km/h      | 29,03 |

$$V(ic) = \sqrt{\frac{2 \times Ei}{m}}$$

|                         |                 |            |
|-------------------------|-----------------|------------|
| Quantidade de movimento | Veículo 1 (S10) |            |
|                         | Q1i (kg.m/s)    | 110.468,16 |

$$Qi = m \times V(ic)$$

Tabela 5: Análise da energia dissipada pelo veículo 2, considerando a energia dissipada pelos danos.

| Veículo 1 (S10) |            | Veículo 2 (Onibus) |            |
|-----------------|------------|--------------------|------------|
| Q1f (kg.m/s)    | 16.587,37  | Q2f (kg.m/s)       | 89.552,32  |
| Q1i (kg.m/s)    | 110.468,16 | Q2i (kg.m/s)       | 211.085,32 |
| QRI (kg.m/s)    |            | 100.617,16         |            |

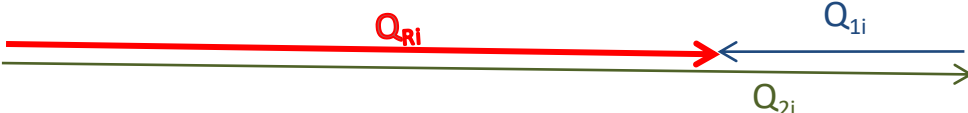


Tabela 6: Conservação da quantidade de movimento resultante, nos instantes antes e após a colisão.

| $V(ic) = \frac{Q_i}{m}$ | Veículo 2 (Onibus) |       |
|-------------------------|--------------------|-------|
|                         | V(ic) m/s          | 15,41 |
|                         | V(ic) km/h         | 55,47 |

Tabela 7: Velocidade inicial imediatamente antes da colisão do veículo 2.

| Veículo 1 (S10)                                                           |       | Veículo 2 (Onibus) |       |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|-------|
| K (atrito)                                                                | 0,85  | K (atrito)         | 0,85  |
| df (m)                                                                    | 0,00  | df (m)             | 0,00  |
| $\phi$ (graus)                                                            | 4,80  | $\phi$ (graus)     | 1,50  |
| Vt(m/s)                                                                   | 8,06  | Vt(m/s)            | 15,41 |
| Vt(km/h)                                                                  | 29,03 | Vt(km/h)           | 55,47 |
| $Vt = \sqrt{V_{ic}^2 + 2 \times g \times df \times (k - \text{sen}\phi)}$ |       |                    |       |

Tabela 8: Velocidade total dos veículos antes da colisão

|                                   |                 |                                |  |                                      |              |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|--------------|
|                                   | Veículo 1 (S10) |                                |  | Veículo 2 (Onibus)                   |              |
| Energia antes                     | Ei (J)          | 69.569,18                      |  | Ei (J)                               | 1.626.168,33 |
| Energia após                      | Ef (J)          | 64.285,23                      |  | Ef (J)                               | 292.686,80   |
| Energia dando                     | Ede (J)         | 5.283,95                       |  | Ede (J)                              | 1.333.481,53 |
| Veloc. danos equi                 | Vde (m/s)       | 2,22                           |  | Vde (m/s)                            | 13,95        |
|                                   | Vde (Km/h)      | 8,00                           |  | Vde (Km/h)                           | 50,23        |
| $Ei = \frac{m \cdot V_{ic}^2}{2}$ |                 | $Ef = \frac{m \cdot V_f^2}{2}$ |  | $Ed = Ei - Ef$                       |              |
|                                   |                 |                                |  | $Vde = \sqrt{\frac{2 \cdot Ede}{m}}$ |              |

Tabela 9: Energia dissipada devido aos danos decorrentes da colisão.

| Veículo 1 (S10) |           | Veículo 2 (Onibus) |              |
|-----------------|-----------|--------------------|--------------|
| Vt (km/h)       | 29,03     | Vt (km/h)          | 55,47        |
| V(ic) (km/h)    | 55,47     | V(ic) (km/h)       | 29,03        |
| Vd (km/h)       | 8,00      | Vd (km/h)          | 50,23        |
| Vf (km/h)       | 27,90     | Vf (km/h)          | 23,53        |
|                 |           |                    |              |
|                 | Veículo 1 | Veículo 2          | Total        |
| Ei              | 69.569,18 | 1.626.168,33       | 1.695.737,51 |
| Ed + Ef         | 69.569,18 | 1.626.168,33       | 1.695.737,51 |

Tabela 10: Resumo final da análise da velocidade e análise da energia nos instantes imediatamente antes da colisão e imediatamente após a colisão.

Dos cálculos anteriores infere-se que a velocidade da caminhonete S10 era de aproximadamente **30 km/h** e do ônibus era de **55 km/h**.

#### 6.4. Escorregamento e tombamento em curvas

A capacidade de um veículo ficar sobre as suas quatro rodas é dada pela análise do **polígono de estabilidade**, definido como figura gerada pelos pontos de corpo com o solo. No caso do ônibus com bitola iguais nos eixos traseiros e dianteiros, o polígono é um retângulo no solo, no caso de um veículo de duas rodas (moto) é uma reta.

Com esse conceito pode-se determinar, de uma maneira simplificada, a velocidade máxima em que um veículo pode fazer uma curva sem que ele tombe ou derrape. Considerando uma curva de raio R percorrida com uma certa velocidade V dada, essa velocidade causará uma força centrípeta  $F_c$  no veículo, dada pela equação:

$$F_c = \frac{m \times V^2}{R}$$

A intensidade desta força, pode provocar a derrapagem ou capotagem do veículo, dependendo do que ocorra primeiro em função das velocidades críticas de derrapagem e de tombamento. Para que o veículo faça a curva, essa força centrípeta deve ser equilibrada pela força de atrito lateral dos pneus.

Se a força centrípeta for maior que a força de atrito ocorrerá o **escorregamento**. Assim, a **velocidade crítica de derrapagem** é dada pela seguinte equação:

$$V_{cd} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R}$$

Quando a força centrípeta for menor do que a de atrito, poderá ocorrer o **tombamento** do veículo, caso a velocidade do veículo seja superior à velocidade crítica de tombamento.

O tombamento ocorre quando a direção da resultante R, entre das forças  $F_c$  e G, representadas na figura 17, interceptar o plano do solo em um ponto fora do polígono de estabilidade e que a força de atrito impeça o escorregamento.

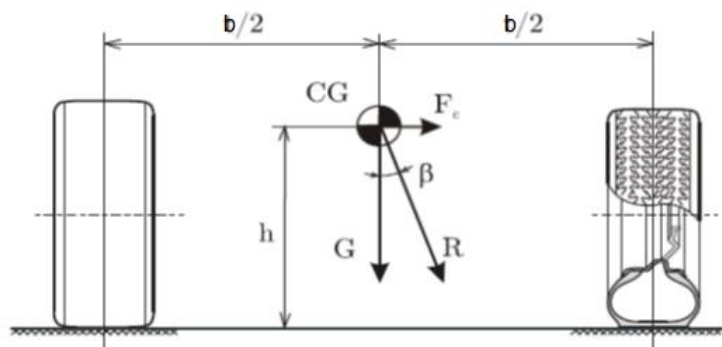


Figura 17 – Força resultante R.

Se a resultante R interceptar o plano do solo fora do polígono de estabilidade, ocorrerá o tombamento, desde que não haja o escorregamento antes. Assim a **velocidade crítica de tombamento** é dada pela seguinte fórmula:

$$V_{ct} = \sqrt{\frac{g \cdot b \cdot R}{2 \cdot h}}$$

O raio da curva da pista foi calculado por fotos de satélite e desenhado com auxílio de programa CAD, resultando num valor de 48,42 metros (figura 11).



Figura 18 – Determinação do raio da curva através de desenho CAD sobre imagem de satélite, resultando em um raio de 48,42m para a curva em questão.

De posse dos dados, as fórmulas foram inseridas em planilha eletrônica, obtendo-se as velocidades de derrapagem de 48,97 km/h e de tombamento de 74,09 km/h, considerando o raio da curva de 48,42 m, conforme tabela 11:

| Dados                    |       |                                                       |
|--------------------------|-------|-------------------------------------------------------|
| μ                        | 0,39  | Coefficiente de atrito                                |
| g (m/s²)                 | 9,80  | Aceleração da gravidade                               |
| R (m)                    | 48,42 | Raio da curva                                         |
| b (m)                    | 1,964 | Bitola do eixo                                        |
| h (m)                    | 1,10  | Altura do centro de gravidade                         |
|                          |       |                                                       |
| Velocidade de derrapagem |       | $V_{cd} = \sqrt{\mu \cdot g \cdot R}$                 |
| Vcd (m/s)                | 13,60 |                                                       |
| Vcd (km/h)               | 48,97 |                                                       |
|                          |       |                                                       |
| Velocidade de tombamento |       | $V_{ct} = \sqrt{\frac{g \cdot b \cdot R}{2 \cdot h}}$ |
| Vct (m/s)                | 20,58 |                                                       |
| Vct (km/h)               | 74,09 |                                                       |

Tabela 11 – Cálculo das velocidades críticas de derrapagem, tombamento.

Considerando o raio da faixa central da curva existente ( $R=48,42$  m) a velocidade crítica de derrapagem calculada é menor que a velocidade crítica de tombamento ( $V_{cd} = 48,97$  km/h <  $V_{dt} = 74,09$  km/h), ou seja, nesse caso específico, o veículo ao atingir a velocidade de 48,97 km/h, respeitando o raio da faixa central da pista, derraparia antes de tombar. Contudo, o condutor do ônibus conseguiu fazer a curva sem derrapar e sem tombar, uma vez que veio a colidir com a caminhonete S10 dentro da pista de rolamento, a uma velocidade de 55 km/h.

A condição mais favorável para se fazer uma curva é alterando seu raio de trajetória, tomando sua tangente, aproveitando assim toda a largura da pista, o que implica em invadir a faixa central, diminuindo o raio de sua trajetória.

Assim, adotando a velocidade em que era conduzido o ônibus, calcula-se qual o raio da trajetória adotado pelo motorista para fazer essa curva, considerando a velocidade de derrapagem, que é a mais crítica que a de tombamento para o caso específico. Na tabela 12 foram calculados os raios mínimos para quatro situações de velocidades críticas de derrapagem e seus respectivos raios. No caso, para velocidade de 55 km/h, registrada no tacógrafo do ônibus, o raio necessário da trajetória para ser fazer a curva é de no mínimo 61 metros.

| Raio mínimo derrapagem |      |      |      |      | $R = \frac{V_{cd}^2}{\mu \cdot g}$ |
|------------------------|------|------|------|------|------------------------------------|
| $V_{cd}$ (km/h)        | 55,0 | 50,0 | 45,0 | 40,0 |                                    |
| $V_{cd}$ (m/s)         | 15,3 | 13,9 | 12,5 | 11,1 |                                    |
| $R$ (m)                | 61,1 | 50,5 | 40,9 | 32,3 |                                    |

Tabela 12 – Cálculo do raio mínimo de derrapagem

Desenhando uma curva de 61 metros de raio e sobrepondo ao traçado da pista, respeitanto sua largura de 6,25 metros, obtêm-se a trajetória mais provável realizada pelo ônibus para conseguir fazer a curva sem escorregar e sem tombar. A linha tracejada em vermelho na figura 20 ilustra a trajetória mais provável realizada pelo condutor do veículo.

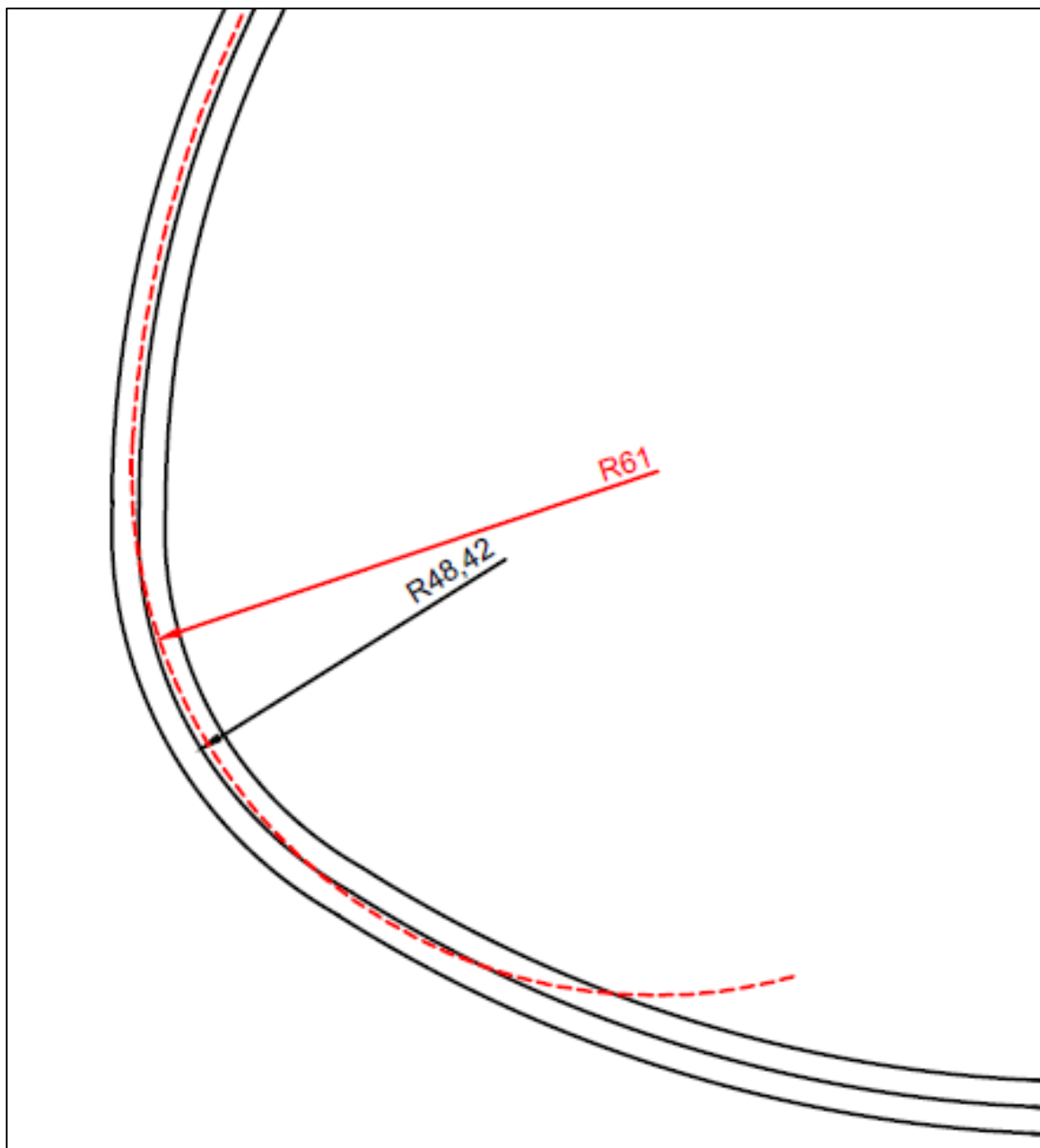


Figura 19 – Trajetória do ônibus para realizar a curva com velocidade de 55km/h

Verifica-se que a trajetória em vermelho necessariamente invade a faixa central da pista, tangenciando a linha de borda interna da curva, no sentido Juquiá - Tapiraí, onde transitava a caminhonete S10 em sentido contrário, vindo a colidir.

## 7. CONCLUSÃO

Embasadas nas constatações e cálculos substancialmente ilustrados e fundamentados nos capítulos precedentes, verifica-se que o embate entre o veículo S10 conduzido pelo corréu José e o veículo ônibus conduzido pelo Sr. Márcio ocorreu na Rodovia SP 79, km 192, na faixa de quem vai de Juquiá para Tapiraí. A colisão foi semifrontal (excêntrica) e próxima a linha dupla contínua de divisão de fluxos opostos (LFO -3), ocasionando avarias gravíssimas no veículo S10.

O acidente foi provocado pelo ônibus que ao realizar a curva a sua esquerda, com excesso de velocidade para o local, avançou a faixa contrária, colidindo com a caminhonete S10 que vinha em sentido oposto. Pelos cálculos de velocidade de tombamento e velocidade de derrapagem, determinou-se o raio de curvatura da trajetória necessário para que o ônibus fizesse a curva, passando obrigatoriamente pela pista contrária, demonstrando que o mesmo invadiu a linha dupla contínua de divisão de fluxos opostos.

O modelo físico-matemático utilizado com as informações disponíveis sobre as distancias dos veículos em relação ao sítio de colisão permitiu inferir a velocidade da S10 em 30 km/h e a velocidade do ônibus, determinada pelo tacógrafo, em 55km/h, acima da velocidade permitida para o local de 40 km/h.

## 8. RECOMENDAÇÕES

Na aplicação do princípio da conservação da quantidade de movimento é primordial que se conheça a posição do sítio de colisão e as posições finais de imobilização dos veículos após o embate. Assim, recomenda-se que os croquis sejam feitos com indicações de medidas das posições finais dos veículos em relação ao sítio de colisão. Na eventualidade dos veículos terem sido retirados dos locais de suas imobilizações finais, procurar por sinais e testemunhas dos fatos.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. ALMEIDA, Lino Leite de, **Manual de Perícias em Acidentes de Trânsito**, Campinas, Editora Millennium, 2011;
2. NEGRI, Osvaldo Neto, KLEINUBING, Rodrigo, **Dinâmica dos Acidentes de Trânsito, Análise, Reconstruções e Prevenção**, 4ª. Edição, Campinas, Editora Millennium, 2012;
3. ARAGÃO, Ranvier Feitosa, **Acidentes de Trânsito, Análise da Prova Pericial**, 5ª. Edição, Campinas, Editora Millennium, 2011.
4. BEER, P. Ferdinand, JOHSTON, E. Russell, **Mecânica Vetorial para Engenheiros –Dinâmica**, Vol II, 3ª Ed., São Paulo, Editora Mc Graw-Hill, 1981.
5. HIBBELER, R. C., **Dinâmica, mecânica para Engenharia**, 12ª Ed. São Paulo, Person Education do Brasil, 2010.