

ANÁLISE DE IMAGENS NA DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADES DE ENTRADA EM PERÍCIAS DE TRÂNSITO

Tales Giuliano Vieira*

Superintendência de Polícia Técnico Científica de Minas Gerais – 6º DPC/1ª DRPC – Lavras/MG

Gustavo Henrique Canedo Fraga

Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais

Paulo Elpídio de Alvarenga Marinho

Instituto de Criminalística da Polícia Civil de Minas Gerais

IMAGE ANALYSIS FOR DETERMINING SPEED OF ENTRY OF CARS IN THE INVESTIGATION OF TRAFFIC ACCIDENTS

RESUMO

Perícias em locais de acidente de trânsito vêm ocorrendo cada dia com mais frequência, o que tem como prováveis causas o aumento do fluxo rodoviário e imprudência/imperícia de condutores. Em um local de acidente de trânsito, o agente pericial tenta remontar o local da colisão, utilizando-se dos vestígios para tentar descrever a dinâmica envolvida no fato. A falta de vestígios em locais é um dos fatores que mais impossibilita ou dificulta a análise, uma vez que esses vestígios são usados, por exemplo, para a determinação da velocidade dos veículos instantes antes do sinistro. O cálculo da velocidade das unidades motoras pode ser realizado de diversas maneiras; no entanto, existem locais em que não é possível a constatação de vestígios suficientes para os cálculos, ocasião em que as câmeras de segurança têm papel fundamental nessa natureza pericial. Esse trabalho tem como objetivo avaliar o uso de câmeras na estimativa de velocidade de veículos em local de acidente de trânsito em comparação com métodos clássicos da Física. Os resultados mostraram-se promissores, principalmente em locais com ausência de vestígios.

PALAVRAS CHAVE: câmeras; perícia; velocidade.

ABSTRACT

Investigations into scenes of traffic accident, whose probable causes are the increasing traffic flow and driver's recklessness/inexperience, occur more frequently each day. In a traffic accident scene, the forensic investigator tries to reassemble the collision site, using the trace evidences in hopes of describing the dynamics of the fact. The absence of trace evidences in scenes is one of the factors that hamper analysis or even make it impossible, since these traces are used, for example, to determinate the speed of the vehicle moments before the accident. The speed calculation of the motor vehicles can be accomplished in several ways. However, in some cases there are not enough traces left to allow calculations. In such cases, security cameras play a key role in this kind of investigation. This study aims to evaluate the use of cameras in the estimation of speed of vehicles in car accident scenes compared with classical methods of Physics. The results proved promising, especially in scenes with few traces.

KEYWORDS: camera; investigation; velocity.

INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito são reconhecidos como um dos efeitos negativos dos sistemas de transporte viário. Anualmente, esses acidentes resultam em um grande número de mortes, invalidez e sofrimento às vítimas e seus familiares, representando um elevado custo para a sociedade em geral. Os impactos sócio-econômicos dos acidentes de trânsito têm levado a comunidade internacional a empenhar esforços na redução dos acidentes ⁴.

Em um acidente de trânsito a perícia tem papel fundamental para determinar a causa do sinistro. Nesse tipo de local, o profissional da criminalística analisa diversos vestígios, como fragmentos desprendidos das unidades motoras, avarias nos veículos e ainda marcas de frenagem ou arrastamentos/compressões que auxiliam na determinação da velocidade instantes antes do sinistro ⁵.

A estimativa da velocidade em um local de acidente de trânsito é de fundamental importância, pois a partir dela, pode-se elucidar a causa técnica do acidente e atribuir a culpa a algum dos condutores caso esse estivesse em velocidade incompatível, que é entendida não somente como uma velocidade superior à máxima permitida, mas também como inadequada para a via e suas condições no momento (clima, luminosidade, fluxo etc).

A determinação da velocidade dos veículos envolvidos em um acidente pode ser realizada de diversas maneiras utilizando-se princípios como a conservação da energia dissipada durante uma frenagem ou de deformações nos veículos utilizando-se o método do princípio da conservação da quantidade de movimento ⁶.

O grande desafio da perícia está, no entanto, em locais que não possuam vestígios suficientes para o cálculo das velocidades, ocasiões em que o profissional necessita lançar mão de outros meios para a determinação da dinâmica do acidente, como por exemplo, a utilização de câmeras de segurança.

As tecnologias imagéticas e digitais têm aumentado significativamente as formas de vigilância, registrando desde crimes como assaltos, homicídios, até acidentes de trânsito. Contudo, ainda há muita discussão em torno do assunto, principalmente no que diz respeito à privacidade, pois com os equipamentos de filmagem digital registrando 24 horas por dia, todo o tráfego de veículos e pedestres, algumas pessoas veem sua privacidade ferida, pois tais filmagens permitiriam, por exemplo, que perfis de comportamento de alguém em específico fossem traçados ou poderiam ser utilizadas para outro fim qualquer.

A dificuldade de estudar sinistros de trânsito está intimamente relacionada ao fato de o acidente ser um acontecimento imprevisível, somente observável após sua ocorrência, sendo que nem sempre há indícios suficientes para se reproduzir a dinâmica de um acidente. Além disto, as causas dos acidentes de trânsito podem ser tão vastas, que tomar medidas para a prevenção de sinistros, torna-se uma missão muito árdua ⁵.

Neste contexto, destaca-se a importância das filmagens

de câmeras de segurança que possam ter registrado total ou parcialmente a dinâmica do acidente. Além de possibilitarem uma prova material do fato em análise, podem ser utilizadas para estimar as velocidades dos veículos envolvidos, possíveis motivos causadores, intervenção de terceiros, entre tantas outras aplicações.

Em geral, filmagens de acidentes ou outros incidentes são registrados por câmeras de circuito fechado de televisão (CCTV), que hoje em dia representam a maior parte dos equipamentos de segurança encontrados. Define-se CCTV como um sistema que inclui todos os sistemas de gravação de vídeo projetados para uso privado, ou seja, gravações que serão usadas com a finalidade de monitoramento e segurança, e não como meio de gravação para retransmissão.

Câmeras com resoluções superiores conseguem registrar imagens mais nítidas em comparação com equipamentos de baixa resolução. A resolução é medida em linhas, por exemplo, uma televisão de resolução padrão tem resolução de tela de 480 linhas, enquanto equipamentos televisivos de alta definição (HDTV) têm resolução de 1080 linhas. Contudo, a maioria dos equipamentos de CCTV têm resoluções que oscilam entre 330 e 400 linhas, não se fazendo assim necessário utilizar equipamentos HDTV. Resoluções mais altas de câmera estão disponíveis se a qualidade das imagens obtidas for o alvo desejado ⁷.

Uma filmagem é composta por um conjunto de imagens que, ao serem passadas em sequência e em um curto espaço de tempo, causam a ilusão de movimento. Não existe um padrão pré-definido a ser seguido sobre a velocidade com que essas imagens devem ser passadas, mas tem-se a convenção para contabilizar e repassar os dados sobre com qual velocidade as imagens estão sendo passadas. Tal convenção adquiriu o nome de *frame*, ou quadro, e determinou-se que uma boa unidade para a contabilização de imagens seria em segundos. Daí origina-se o termo *frames* por segundo (FPS) ou quadros por segundo (QPS), que são usados para dizer quantas imagens são passadas em um segundo de gravação.

Nos sistemas de vídeo utilizados no Brasil, Canadá, Estados Unidos e Japão, a taxa média de velocidade do FPS é de 29,97 imagens por segundo; portanto, cada *frame* equivale a 0,0333 segundos. Aproximadamente tem-se um total de 30 FPS, o que dá uma boa fluidez às filmagens, e é o padrão geralmente adotado por CCTVs.

Recentemente imagens de câmera foram utilizadas na determinação de velocidade de veículos, utilizando-se uma metodologia baseada em arranjos geométricos e a validação foi realizada por radar com efeito Doppler ⁸.

O método PCQM provém das leis newtonianas e permite estimar as velocidades baseando-se no princípio da conservação da energia/quantidade de movimento pelo deslocamento do centro de massa de um corpo. O método citado é extremamente confiável e descrito por muitos estudiosos em Física, sendo extremamente utilizado em perícias de trânsito ⁶.

Existem expressões bem definidas para a utilização do método, as quais seguem abaixo:

$$\sum P_i = P_A + P_B = P'_A + P'_B$$

A quantidade de movimento (P_i) de um corpo pode ser definida como o produto de sua massa pela velocidade sendo esse conservado durante uma colisão, ou seja, o somatório dos momentos iniciais ($P_A + P_B$) é igual à soma dos momentos após a colisão ($P'_A + P'_B$). O método consiste em calcular as velocidades de entrada dos veículos, ou seja, a velocidade das unidades motoras antes da colisão, através de estimativas das velocidades de saída, ou seja, após a colisão. Substituindo-se cada momento (P) pelo produto da massa pela velocidade tem-se:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A u_A + m_B u_B$$

Na expressão, v_A e v_B são as velocidades antes da colisão (velocidade de entrada) e u_A e u_B são as velocidades após colisão, denominadas como velocidades de saída.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado mediante levantamento pericial em um local de acidente de trânsito na área da Delegacia Regional de Polícia Civil de Lavras, Minas Gerais, o qual envolveu dois veículos (automóveis) em uma área urbana. Como as câmeras de segurança próximas ao local do acidente não registraram o sinistro, o cálculo da velocidade das unidades motoras antes da colisão foi estimado mediante três metodologias:

Metodologia 1

Método PCQM, baseando-se nas posições de imobilização das unidades motoras bem como seus deslocamentos do ponto de impacto;

Metodologia 2

Cálculo direto através da distância percorrida entre dois pontos, com auxílio de câmera de segurança;

Metodologia 3

Simulação com veículo de mesma marca e modelo e construção de curva de calibração, utilizando-se imagens de uma câmera.

Para o cálculo da velocidade através da primeira metodologia, utilizaram-se as massas dos veículos conforme constava no sistema do Departamento de Trânsito (DETRAN/MG) considerando a quantidade de pessoas dentro dos veículos. Os ângulos de entrada e saída dos veículos foram obtidos mediante construção de croqui esquemático do local no dia do sinistro. As velocidades de saída de cada veículo foram estimadas baseando-se nas avarias dos mesmos, bem como na posição de imobilização de cada unidade motora após o abalroamento, conforme dados da literatura, assim como todas as expressões para os cálculos efetuados⁶.

A estimativa da velocidade de entrada dos veículos através das metodologias 2 e 3 foi realizada com o auxílio de uma câmera de segurança da marca JFL, possuindo 30 FPS e resolução de 520 linhas a qual se encontrava nas proximidades do local periciado. A FIG. 1 mostra a imagem obtida através da câmera, podendo-se observar, em destaque, os pontos fixos (árvores) utilizados para os cálculos.



Figura 1: Visão da câmera de segurança utilizada mostrando as duas árvores (setas brancas) que foram utilizadas como pontos fixos para a estimativa das velocidades.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Método PCQM

Para o cálculo da velocidade pelo método do PCQM realizou-se inicialmente o cálculo das velocidades de saída, ou seja, velocidades após o abalroamento. A velocidade de saída do veículo 1 (V_1) foi estimada como sendo igual a energia necessária para deslocá-lo por uma distância d em coeficiente de atrito μ . Para o presente estudo, considerou-se um coeficiente de atrito cinético (arrastamento) igual a 0,6.

$$u_1 = (2\mu g d)^{0.5}$$

$$u_1 = 34,93 \text{ km/h}$$

A velocidade de saída do veículo 2 (V_2) foi estimada como sendo igual à energia necessária para causar danos graves em sua estrutura quando da colisão contra a árvore ($60 \text{ km/h} = 16,66 \text{ m/s}$), mais a energia despendida na forma de atrito com o rolamento das rodas em rolagem (coeficiente 0,1) por 42 m. O valor de 0,1 é considerado o mais correto por se tratar de um coeficiente estático, com valores menores que os cinéticos utilizados em demais cálculos.

$$V\text{-roda-engrenada} = (2\mu g d)^{0.5}$$

$$V\text{-roda-engrenada} = (2 \cdot 0,1 \cdot 9,81 \cdot 42)^{0.5} = 9,07 \text{ m/s} = 32,68 \text{ km/h}$$

Velocidade total de saída de V2:

$$u_2^2 = 16,66^2 + 9,07^2$$

$$u_2 = 18,97 \text{ m/s} = 68,28 \text{ km/h}$$

A estimativa das velocidades de entrada, ou seja, aquela velocidade que antecedeu ao acidente pode ser feita pelas expressões abaixo, utilizando-se os parâmetros mostrados na TAB. 1. Os valores dos ângulos (b) de saída foram obtidos através de medidas no local.

$$V_1 = m_2/m_1 \cdot u_2 \cdot \sin b_2 + u_1 \cdot \sin b_1^6$$

$$V_1 = 1100/1000 \cdot 18,97 \cdot \sin 2 + 9,70 \cdot \sin 20$$

$$V_1 = 4,03 \text{ m/s}$$

$$V_1 = 14,53 \text{ km/h}$$

$$V_2 = u_2 \cdot \cos b_2 + m_1/m_2 \cdot \cos b_1$$

$$V_2 = 18,97 \cdot \cos 2 + 1000/1100 \cdot \cos 20$$

$$V_2 = 19,80 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 71,29 \text{ km/h}$$

	Ângulo de entrada (°)	Ângulo de saída (°)	Massa do veículo (kg) ^A	V (km h ⁻¹) ^B	U (km h ⁻¹) ^C
Veículo 1	90	20	1000	14,53	34,93
Veículo 2	0	2	1100	71,29	68,28

Quadro 1: Parâmetros utilizados para o cálculo das velocidades de entrada e saída dos veículos envolvidos.

A) massa total do veículo incluindo o(s) passageiro(s); B) velocidade de entrada do veículo; C) velocidade de saída do veículo.

O QUADRO 1 apresenta os parâmetros utilizados no cálculo pelo método PCQM, bem como as velocidades de entrada e saída dos veículos 1 e 2.

O confronto desse resultado foi realizado mediante comparação com os resultados dos cálculos pelas metodologias 2 e 3, os quais utilizaram imagens obtidas por uma câmera de segurança. A FIG. 2 apresenta um frame de um trecho em que o V2 passava pelos pontos fixos (árvores).

Figura 2: Fragmento da filmagem (*frame*) mostrando o momento em que o veículo 2 passava pelos pontos fixos em destaque (setas brancas).



O cálculo da velocidade do V2 foi feito inicialmente pela razão da distância percorrida (espaço entre as árvores) pelo tempo gasto no trajeto do V2. Esse tempo foi obtido pelo número de frames que a porção dianteira do V2 gastou para percorrer o intervalo de 7,54 m (distância entre as árvores) dividido pela taxa de frames por segundo (FPS) da câmera, sendo mostrado na sequência.

$$V = D \cdot t^{-1}$$

$$V = 7,54 \text{ m} \cdot (9 \text{ frames} / 24\text{FPS})^{-1}$$

$$V = 20,1066 \text{ m/s} \text{ ou } V = 72,38 \text{ km/h}$$

Na análise dos arquivos de vídeo constatou-se que a câmera apresentou uma variação de 22 a 26 FPS obtendo-se uma média de 24 frames por segundo o qual foi utilizado para o cálculo da velocidade. Esse valor de 72,38 km/h é mais susceptível a erros e, com certeza, menos preciso e exato, já que o desvio padrão foi elevado na obtenção da quantidade de FPS.

Outra provável fonte de erro para o cálculo direto da velocidade do veículo (metodologia 2) é a consideração de que a

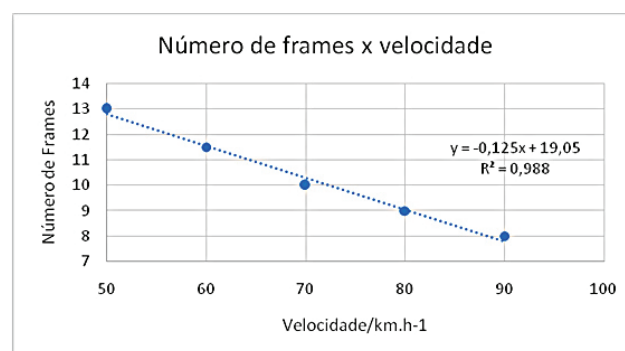
velocidade da unidade motora seria constante no trecho, o que nem sempre ocorre na prática.

Para minimizar os erros do método anterior, foi realizada uma simulação com um veículo de mesma marca e modelo que V2 no mesmo trecho onde esse teria sido filmado. Após isolamento da área, dois Investigadores de Polícia da 1ª Delegacia Regional de Polícia Civil de Lavras/MG conduziram o veículo similar a V2 no mesmo trecho de modo que fosse captado pela câmera retrocitada no mesmo ângulo que no dia do acidente, produzindo velocidades de 50, 60, 70, 80 e 90 km/h que foram aferidas pelo velocímetro no momento do teste.

Como ambos os veículos percorreram o mesmo trecho e considerando que havia uma referência de demarcação (árvores), pode-se afirmar que a velocidade que o condutor imprimiu é inversamente proporcional ao tempo gasto para percorrer o trecho e também inversamente proporcional ao número de frames correspondentes para a porção dianteira do veículo percorrer o intervalo entre as árvores.

Dessa forma foi construída uma curva de calibração de velocidade real do veículo similar a V2 versus número de frames gastos para percorrer o intervalo fixo, obtendo-se a equação da reta como mostrado na FIG. 3.

Figura 3: Gráfico de número de frames versus velocidade imprimida no experimento.



Após a construção da curva de calibração, as imagens do V2 no dia do sinistro foram analisadas, obtendo-se que o mesmo gastou 9 (nove) frames para percorrer o espaço fixo. Sendo assim, sua velocidade pode ser calculada pela equação da reta mostrada acima, considerando-se "y" o número de frames e "x" a velocidade do V2. Substituindo-se na equação da reta pode-se obter a velocidade do V2.

$$9 = -0,125x + 19,05$$

$$V2 = 80,4 \text{ km/h}$$

O valor calculado é susceptível a erros principalmente devido à não calibração do velocímetro do veículo utilizado durante a reprodução simulada. Além disso, o próprio velocímetro apresenta erro de medição de 5 km/h, calculado como sendo a metade da menor divisão do equipamento.

A TAB. 1 apresenta os resultados das três metodologias

utilizadas para estimativa da velocidade do V2.

Independente do valor absoluto da velocidade encontrada, no caso em estudo, foi possível afirmar que o V2 encontrava-se em velocidade acima da máxima permitida para a via, informação esta valiosa tanto para a análise pericial quanto judicial.

Melhores resultados com a terceira metodologia podem ser obtidos com a utilização de radares móveis para a aferição da velocidade durante a simulação.

Tabela 1: Estimativas da velocidade do V2 pelos três métodos propostos

Metodologia	Velocidade estimada de V2 (km h ⁻¹)
1	71,29
2	72,38
3	80,40

1) Método PCQM, baseando-se nas posições de imobilização das unidades motoras bem como seus deslocamentos do ponto de impacto;

2) Cálculo direto através da distância percorrida entre dois pontos, com auxílio de câmera de segurança;

3) Simulação com veículo de mesma marca e modelo e construção de curva de calibração, utilizando-se imagens de uma câmera.

CONCLUSÃO

O procedimento de estimativa das velocidades através de filmagem apresentou grande potencial de utilização em perícias de trânsito uma vez que, considerando o erro das medições, os resultados foram próximos e totalmente coerentes. Mesmo apresentando complexidade mais elevada que as duas primeiras metodologias, a estimativa através de simulação e curva de calibração pode ser útil nos locais em que não existem vestígios suficientes para cálculo de velocidade pelos princípios clássicos da Física.

REFERÊNCIAS

1- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PERITOS CRIMINAIS FEDERAIS. 2014. Disponível em: <<http://www.apcf.org.br/PericiaCriminal/Oqueépericia.aspx>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

2- RODRIGUES, C.V.; SILVA, M.T.; TRUZZI, O.M.S. Perícia crimi-

nal: uma abordagem de serviços. *Gestão & Produção, UFS-CAR*, v.17, p.843-857, 2010.

3- BRASIL. *Código de processo penal Brasileiro*. Decreto -Lei, n° 3689, de 03 de outubro de 1941.

4- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. 2014. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

5- CHAGAS, D.E. *Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano*. 2011. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

6- NEGRINI NETO, O; KLEINÜBING, R. *Dinâmica dos acidentes de trânsito – análises, reconstruções e prevenção*. 4.ed. Campinas: Millennium, 2012.

7- INTELBRAS. Disponível em: <<http://www.intelbras.com.br/em-presarial/monitoramento/cameras>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

8- WONG T.W.; TAO C.H.; CHENG Y.K.; WONG K.H.; TAM C.N. Application of cross-ratio in traffic accident reconstruction. *Forensic Science International*, v.235, p.19–23, 2014.

