

A Estatura como Traço Biométrico Auxiliar na Identificação de Autores de Delito – Aplicação de Metodologia Forense de Estimativa de Altura Humana em Vídeos de Sistema de Vigilância

A. Gonçalves Júnior ^{a,*}, H. Pedrini ^b

^a Instituto de Criminalística, Polícia Civil do Distrito Federal, Brasília (DF), Brasil

^b Instituto de Computação, Universidade de Campinas, Campinas (SP), Brasil

*Endereço de e-mail para correspondência: admilson.goncalves@pcdf.df.gov.br.

Recebido em 21/05/2019; Revisado em 11/06/2019; Aceito em 22/09/2019

Resumo

A necessidade de estabelecimento da identificação de indivíduos fomentou o uso da biometria em diferentes aplicações, dentre elas, as forenses. As aplicações forenses de biometria envolvem problemas de determinação de fonte ou de origem, em que o perito criminal oficial é inquirido a responder, por meio do cotejo entre materiais padrão (obtido do suspeito) e questionados (vestígios), se o suspeito é ou não a fonte do vestígio. Em geral, exames de determinação de fonte caracterizam-se por analisar um determinado traço biométrico tradicional – como morfologia da face e características vocais (ou da voz). Esses traços biométricos, além de possuírem graus de distinção diferentes, podem ser insuficientes ou estar indisponíveis em um material questionado, de forma a limitar ou até mesmo inviabilizar a análise pericial. O uso de informações auxiliares – como a altura – podem complementar as informações de um indivíduo, elevando a precisão no estabelecimento de sua identificação. Entretanto, estas características auxiliares – denominadas de biometria branda – são úteis quando utilizadas ponderada e complementarmente aos identificadores biométricos tradicionais. Este artigo apresenta uma metodologia de estimativa de altura em vídeos que não necessita de cenas geometricamente estruturadas. Para demonstrar a efetividade da solução, um estudo de caso foi apresentado com o propósito de verificar se o autor do homicídio e o suspeito eram ou não a mesma pessoa. A qualidade do material questionado permitiu extrair duas características convergentes entre eles: compleição e formato/dimensão do dorso nasal. Para complementar as convergências, estimou-se a estatura do autor, fato que elevou o grau de plausibilidade de ambos serem a mesma pessoa.

Palavras-Chave: Estimativa de Altura, Calibração de Câmera, Biometria Branda, Computação Visual.

Abstract

The need to establish the identification of individuals encouraged the use of biometrics in different applications, such as forensics. Forensic biometric applications involve source or origin determination problems, where an official criminal expert is inquired to answer whether a suspect is or not the source of the trace by comparing standard materials (obtained from the suspect) and questioned materials (traces). In general, source determination tests are characterized by analyzing a particular biometric trait, such as facial morphology and speech characteristics. These biometric traits, besides having different degrees of distinction, may be insufficient or unavailable in a questioned material, in order to limit or even make the expert analysis unfeasible. The use of auxiliary information, such as height, can complement an individual's information, increasing accuracy in establishing his/her identification. However, these auxiliary features, known as soft biometrics, are useful when used in a weighted and complementary manner to traditional biometric identifiers. This paper presents a methodology for estimating height in videos that does not require geometrically structured scenes. To demonstrate the effectiveness of the solution, a case study is presented whose purpose was to verify if the perpetrator and the suspect were the same person. The quality of the questioned material allowed to extract two convergent characteristics between them: physical constitution and size / dimension of the nasal dorsum. To complement the convergence, the author's stature was estimated, a fact that increased the degree of plausibility of both being the same person.

Keywords: Height Estimation, Camera Calibration, Soft Biometrics, Visual Computing.

1. INTRODUÇÃO

A biometria é uma ciência que se fundamenta nos traços (características) fisiológicos e comportamentais de um indivíduo para determinar sua identidade¹. Traços fisiológicos incluem ácido desoxirribonucleico (DNA), odor, morfologia da face e orelhas, olhos (retina e íris), geometria e padrão das veias das mãos, voz, termogramas da face ou mãos e impressões digitais; enquanto traços comportamentais incluem lançamentos manuscritos, marcha (modo de caminhar) e dinâmica de digitação [1], [2].

Os traços humanos, para serem utilizados como características biométricas e, assim, comporem sistemas biométricos – sistemas que empregam a biometria para identificação ou verificação de indivíduos, como por exemplo para controle de acesso –, devem atender aos seguintes requisitos: **universalidade** (comum na população), **distinção** (duas pessoas quaisquer devem ser suficientemente diferentes considerando uma determinada característica), **permanência** (invariável durante determinado tempo), **mensurabilidade** (pode ser contável), **performático** (permitir resultados rápidos e exatos), **aceitabilidade** (uso cotidiano permitido) e **anti-evasão** (quão resistente a métodos fraudulentos) [4].

A necessidade de estabelecimento da identidade ou verificação de indivíduos fomentou o uso da biometria em diferentes aplicações, que, segundo [2], podem ser subdivididas em três grupos principais: comerciais, governamentais e forenses.

Na Criminalística, as aplicações forenses de biometria são relacionadas a problemas de determinação de fonte² ou de origem: o material questionado – vestígio (dado biométrico) – é comparado com o material padrão – coletado de um indivíduo suspeito. Em problemas desse tipo, a perícia criminal oficial é inquirida a responder se o indivíduo suspeito é a fonte do dado biométrico, considerado como marca ou traço forense, conforme explica [6] em seu trabalho.

São exemplos de exames periciais de determinação de fonte fundamentados em características biométricas: exame de DNA forense, em materiais biológicos; confronto grafotécnico (ou grafoscópico), a partir de assinaturas ou outros lançamentos manuscritos;

comparação forense de locutor [6], em traços de voz; comparação facial, a partir de imagens da face.

1.1. Biometria Branda

Os exames periciais de determinação de fontes citados anteriormente caracterizam-se por utilizar traços biométricos únicos, em outras palavras, analisam apenas um traço biométrico tradicional. Porém, além de cada um desses traços (DNA, lançamentos manuscritos, voz, face) possuir graus de distinção diferentes, como demonstrado por [7], eles podem não estar suficientemente evidentes (ou disponíveis) tanto no material padrão quanto no questionado, de maneira a limitar ou até mesmo inviabilizar o exame pericial.

Em seu trabalho, [8] demonstraram que “[...] a utilização de informações auxiliares, como gênero, altura e etnia, podem melhorar o desempenho dos sistemas biométricos tradicionais”. Aliás, explicam também que, embora esses traços biométricos, denominados de “biometria branda”, não sejam tão permanentes e confiáveis quanto os tradicionais (primários), como decadatilares e face, eles complementam as informações do indivíduo, elevando a precisão no estabelecimento de sua identidade. No entanto, as características biométricas brandas só seriam úteis na identificação de um indivíduo se fossem utilizadas de forma complementar e ponderada aos identificadores biométricos primários.

1.2. Comparação Facial

A utilização de circuitos fechados de televisão (CFTV) nos projetos de segurança pertencentes às mais diversas entidades (que abrangem desde grandes corporações até residências comuns), como forma de coibir, monitorar, reunir provas, bem como identificar autores de ações criminosas, tem se tornado comum nos dias de hoje. Isso tem gerado um aumento expressivo de materiais contendo vídeos extraídos de CFTV de locais de crime, os quais são encaminhados aos Institutos de Criminalística para exames periciais de determinação de fonte.

Entre os exames de determinação de fonte mais solicitados em materiais que contêm vídeos de CFTV, destaca-se o de comparação facial.

O exame de comparação facial consiste na análise técnica de convergências e divergências das características

¹Devido à ambiguidade do termo “identidade”, [3] esclarece que, na ciência, a operação de “identificação” ou “classificação” refere-se à **identificação qualitativa**, ou seja, é o agrupamento de um ente (indivíduo ou objeto de interesse) numa classe de entidades com características comuns entre elas. Por outro lado, a operação de “individualização” refere-se à **identificação quantitativa**, isto é, o agrupamento de um ente em uma classe unitária com características exclusivas, que, a rigor, só pode ser estabelecida pela garantia da continuidade no tempo. É comum a operação de “individualização” ser, erroneamente, tratada como “identificação” nas ciências forenses.

²Segundo [5], tanto sistemas de identificação biométrica quanto exames de determinação de fonte são **classificadores**, promovem a **identificação qualitativa** (identificação) de um ente, não realizam a **identificação quantitativa** (individualização), que depende da continuidade no tempo, algo não garantido nem por esses sistemas nem por esses tipos de exames.

da face entre dois conjuntos de registros visuais – imagens padrão ou material padrão (que contém imagens de um indivíduo suspeito, cuja identidade é conhecida) e imagens questionadas ou material questionado (que contém imagens de um indivíduo envolvido no delito em estudo) – a fim de se verificar se as evidências suportam ou se contrapõem à hipótese de as amostras de imagens analisadas (padrão e questionadas) retratarem uma única pessoa.

Consoante à natureza comparativa do exame de comparação facial e à necessidade de se empregarem métodos morfológicos, únicos recomendados por [9], requisitos mínimos de qualidade do material (vídeos) devem ser atendidos, como [10]: **contemporaneidade** (algumas estruturas faciais sofrem alterações com o passar do tempo e o tecido cutâneo sofre colapso e desidratação com o processo de envelhecimento); **enquadramento** (preferencialmente em norma frontal e próximo da câmera); **iluminação e contraste** (de modo que a topografia cutânea e os limites das estruturas faciais sejam adequadamente visualizados); **resolução espacial** (devem possuir resolução suficiente para permitir a correta detecção das estruturas faciais, da morfologia dos elementos constitutivos da face e das marcas e sinais dermatológicos nessa região).

No entanto, [11] destacam que grande parte dos vídeos produzidos por câmeras de sistemas de CFTV não atendem, parcial ou totalmente, a esses requisitos mínimos de qualidade, limitando ou até mesmo inviabilizando o exame pericial por meio das informações biométricas da face, conduzindo a resultados inconclusivos.

Portanto, nos casos em que a análise técnica das características biométricas tradicionais em vídeos não é suficiente para promover o convencimento do perito criminal, o uso de identificadores biométricos brandos, como a altura, incrementa o elenco de evidências analisadas e, dependendo do caso concreto, pode direcionar a exames com resultados conclusivos.

1.3. *Objetivos e Contribuições*

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de uso forense para estimar alturas humanas em vídeos obtidos de sistemas de vigilância (CFTV), visando o uso dessa informação biométrica branda (altura) em exames periciais de determinação de fonte, em substituição (caso não disponíveis) ou em conjunto com informações biométricas tradicionais.

Para demonstrar a efetividade da metodologia proposta, é apresentado um estudo de caso verídico de homicídio, documentado em Laudo de Perícia Criminal [28], cuja estimativa de altura do autor foi necessária para subsidia

sua identificação, uma vez que o material questionado (vídeos obtidos no local) não atendia aos requisitos mínimos de qualidade para a realização de exame de comparação facial.

1.4. *Estrutura do Texto*

A organização das demais partes deste trabalho é apresentada nos parágrafos a seguir.

No Capítulo 2, são detalhadas as fases e as subfases da metodologia de estimativa de altura proposta, bem como o embasamento teórico utilizado.

O Capítulo 3 apresenta um estudo de caso com a aplicação da solução em um exame pericial de um local de crime de homicídio.

Por fim, o Capítulo 4 apresenta as conclusões deste trabalho.

2. A METODOLOGIA

A metodologia proposta visa subsidiar, de forma completa, a realização de exames periciais de estimativa de altura humana. Ela abrange desde os procedimentos a serem realizados no local de crime, para a coleta dos dados preliminares, até as orientações detalhadas do processo de cálculo da estimativa de altura.

O processo da metodologia é condensado em duas fases principais, uma de Aquisição de Dados e outra de Análise de Dados (Fig. 1).

A fase de Aquisição de Dados é composta pela coleta de informações externas e internas da câmera de origem, ou seja, da câmera que capturou o vídeo que contém o alvo³ (material questionado), e do local de sua instalação, e; pela produção dos vídeos do padrão planar de calibração e da escala de referência (material padrão).

Na fase de Análise de Dados, são processadas as informações adquiridas na fase anterior. Nessa fase, os parâmetros de calibração da câmera de origem são calculados e utilizados para retificar os quadros dos vídeos que compõem os materiais padrão e questionado, que contêm respectivamente a escala de referência e o alvo. Uma vez retificados esses vídeos, é possível marcar as coordenadas (limites inferior e superior) tanto da escala quanto do alvo. A partir dessas marcações de coordenadas, obtém-se estimativa de altura desejada (altura do alvo).

É importante ressaltar que o uso da metodologia é condicionado à completa visualização do alvo nos quadros de um vídeo e à distinção de suas extremidades (pés e cabeça) na cena. Situações em que o alvo não é totalmente visível – provocadas, por exemplo, por iluminação insuficiente do ambiente, por capturas parciais (da cintura para cima) ou por oclusões causadas por objetos – em um

³ Indivíduo do qual se deseja estimar a altura.

vídeo, não permitem a indicação de suas extremidades, limitando ou inviabilizando o uso da técnica.

Outro fator considerado limitante é relacionado com a movimentação e a postura do alvo no momento em que é registrado pelas câmeras. Alvos que aparecem nas cenas com posturas não eretas, em processo de corrida ou com a cabeça inclinada (olhando para baixo, por exemplo), geram erros consideravelmente altos nos resultados de estimativa de altura, sendo esses resultados inservíveis para fins forenses. Além disso, a técnica não permite a extração de medidas caso o alvo esteja em decúbito (deitado) nas cenas.

São exemplos de informações que podem ser adquiridas nesta subfase:

- **Marca/modelo da câmera:** câmeras de mesma marca/modelo podem, em geral, compartilhar os mesmos parâmetros de calibração, desde que estejam utilizando a mesma configuração de resolução para gravar suas respectivas imagens. Em outras palavras, em um local em que são utilizadas câmeras de mesma marca/modelo e configuração de resolução de vídeo, bastaria estimar os parâmetros de calibração de uma das câmeras e utilizar esses parâmetros para idealizar os vídeos produzidos pelas demais câmeras, facilitando os trabalhos;
- **Altura da câmera:** câmeras instaladas em lugares muito altos requerem o uso de escadas ou de outros meios de aproximação do padrão de calibração. Além disso, podem exigir o uso de uma escala de referência de maiores dimensões, que possibilitem sua completa visualização. Ademais, altura da câmera é uma informação que pode ser utilizada no processo de estimativa de altura, conforme é detalhado na subseção 2.2.4.
- **Características da região onde o alvo foi visto:** as características do piso – se plano, irregular ou em aclive/declive – e a distância entre essa região e a câmera de origem, demandam critérios específicos tanto no posicionamento da escala de referência (para reproduzir as posições onde o alvo foi visto), quanto no momento da realização de suas marcações (para possibilitar uma densidade de pontos de referência suficientes nos ajustes da estimativa de altura);
- **Características do local de instalação da câmera:** o tipo de ambiente (se interno ou externo) e suas características de iluminação (incidência de luz solar, presença de sombra, iluminação artificial ou infravermelho, etc.) podem dificultar a visualização do padrão de calibração e/ou da escala de referência no momento da produção de seus respectivos vídeos exigindo-se, assim, a adoção de soluções de contorno para as dificuldades porventura encontradas;
- **Características internas da câmera:** anotar as configurações da câmera, como: resolução, opções de detecção de movimento, foco automático e quaisquer outras que possam influenciar os resultados.

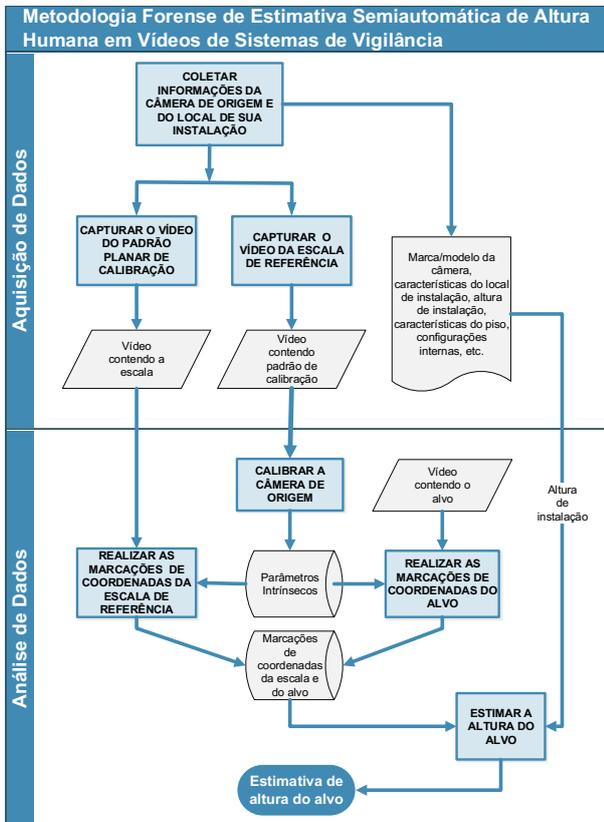


Figura 1. Diagrama contendo as fases da metodologia.

2.1. Aquisição de Dados

Na fase de Aquisição de Dados, as informações da câmera de origem e do local de sua instalação são coletadas e os vídeos do padrão planar de calibração e da escala de referência são produzidos. Estas subfases são detalhadas a seguir.

2.1.1. Coletar Informações da Câmera de Origem e do Local de sua Instalação

Nesta subfase, as características externas e internas da câmera de origem e do local de sua instalação são anotadas. Essas informações são úteis na definição da estratégia de captura dos vídeos do padrão de calibração e da escala de referência, bem como para a realização da fase de Análise de Dados.

2.1.2. Capturar o Vídeo do Padrão Planar de Calibração

O vídeo contendo o padrão planar de calibração é utilizado como entrada para determinar os parâmetros de

calibração da câmera, mais especificamente, os seus parâmetros intrínsecos.

Os parâmetros intrínsecos são as características óticas e geométricas internas da câmera. Em muitos casos, a precisão do processo de calibração da câmera influencia fortemente no desempenho global de sistemas de visão computacional [12]. Deste modo, para que seja introduzido o mínimo de erros nesse processo, são necessários alguns cuidados especiais com a preparação do padrão planar de calibração e com a sua posterior aquisição pela câmera de origem.

Recomenda-se para a preparação do padrão planar de calibração que: o suporte do padrão seja feito com material de superfície plana e resistente a deformações (umidade do ambiente) e a dilatações (temperaturas excessivas), visando garantir a manutenção de suas dimensões; o padrão planar seja impresso nas cores branca e preta (serviços profissionais de impressão oferecem, além de impressões⁴ de alta qualidade, tipos variados de materiais, como papéis com diferentes gramaturas e vinil com adesivo) e; antes de ser fixado, a impressão do padrão deve estar bem alinhado às extremidades do suporte. Uma fixação cuidadosa previne a ocorrência de bolhas, amassados ou dobras [13].

Para aquisição do vídeo do padrão planar de calibração, é necessário que a câmera de origem esteja configurada com a mesma resolução à época que capturou o alvo. [13] explica também que, caso a câmera de origem possua o recurso de foco automático, este deve ser desabilitado, pois quando ativado, faz com que as peças que compõem a lente da câmera sejam movidas fisicamente, influenciando na determinação dos parâmetros intrínsecos do equipamento.

O suporte deve ser posicionado em frente à câmera de origem a uma distância mínima que garanta a visualização das bordas e dos detalhes do padrão de calibração [13]. É preciso movimentar o suporte em frente à câmera, a fim de que o padrão de calibração seja capturado pelas extremidades da lente, onde as distorções são mais evidentes. Além disso, o suporte deve ser rotacionado e inclinado, não bruscamente, e mantido estável por um determinado instante antes de ter sua posição alterada.

2.1.3. Capturar o Vídeo da Escala de Referência

O vídeo contendo a escala de referência é utilizado como entrada para marcar as coordenadas – inferior e superior – dessa escala. Na subseção 2.2.4 é explicado como as coordenadas da escala são utilizadas na estimativa de altura do alvo.

O processo de aquisição do vídeo da escala de referência também requer cuidados especiais para que não sejam introduzidos erros nos resultados. Assim como na captura do padrão de calibração, é requerido que a configuração da resolução da câmera de origem seja a mesma à época que capturou o alvo. Além de estar instalada no mesmo local, preferencialmente na mesma altura e com o mesmo campo de visão.

A escala de referência de altura conhecida deve ser posicionada perpendicularmente no piso e voltada para a câmera de origem. Deve ser deslocada pela região da cena e nas adjacências onde o alvo foi visto no vídeo questionado, com o objetivo de reproduzir sua movimentação. É essencial que as extremidades superior e inferior da escala sejam visíveis nos quadros do vídeo padrão, caso contrário, não é possível realizar as marcações de suas coordenadas.

2.2. Análise de Dados

Na fase de Análise de Dados, as informações adquiridas na fase anterior são processadas com o objetivo de estimar a altura do alvo.

Nessa fase, são realizados os cálculos dos parâmetros de calibração da câmera de origem, que serão utilizados na retificação dos vídeos do alvo (material questionado) e da escala de referência (material padrão). Além disso, são marcadas as coordenadas das extremidades inferior e superior tanto da escala (base e topo) quanto do alvo (pés e cabeça) em seus respectivos vídeos já retificados. Por fim, são estimados, por meio de uma regressão não linear: a distância focal, a altura e o ângulo de inclinação da câmera de origem. Com esses três parâmetros e com as marcações de coordenadas do alvo, é possível estimar sua altura.

2.2.1. Calibrar a Câmera de Origem

Em seu trabalho, [14] explicam que uma câmera, a qual é formada por um plano da imagem (sensor) e uma lente, é capaz de transformar um objeto do espaço tridimensional (3D) em uma imagem bidimensional (2D). Porém, as distorções existentes entre os pontos desse objeto do espaço e suas respectivas localizações na imagem (pixel), impedem que essa transformação seja perfeitamente traduzida por meio de transformações de perspectivas.

Por se tratar de aproximações do mundo real, a modelagem das distorções depende da eficácia do modelo utilizado e quão bem estimados são seus parâmetros. Essa modelagem está relacionada com o processo de calibração de câmeras, o qual determina as suas características

⁴ Vale lembrar que impressões em grandes formatos normalmente utilizam sistema de cores CMYK. Caso opte em fazer a arte gráfica do padrão planar, utilize o CMYK como padrão de cores, caso contrário, a tonalidade da cor preta da impressão poderá ficar diferente daquela vista na tela do computador.

geométricas e óticas internas (parâmetros intrínsecos) – e/ou sua posição e orientação tridimensional em relação a um determinado sistema de coordenadas do mundo (parâmetros extrínsecos) [14].

Considerando que a calibração de câmera é um passo necessário na visão computacional 3D – pois visa extrair informações métricas de imagens 2D [15] – e como os vídeos produzidos por sistemas de vigilância, em geral, possuem significativa distorção em seus quadros – conforme explicam [16] –, é notória a necessidade prévia de se calcular os parâmetros de calibração geométrica das câmeras que os originaram, compensar os efeitos da distorção e, posteriormente, extrair quaisquer informações métricas desses vídeos.

O módulo de calibração de câmera proposto pela metodologia é conciso: um vídeo contendo o padrão planar de calibração é fornecido como entrada e os parâmetros intrínsecos e extrínsecos otimizados da câmera são dados como saída. Não há necessidade de intervenções manuais no processo, como ocorre na solução apresentada por [17], que requer a indicação manual dos cantos mais extremos do padrão de calibração tabuleiro de xadrez nas imagens de entrada.

Desenvolvido na linguagem de programação Python⁵ [18], o módulo de calibração proposto utiliza os recursos da biblioteca de software OpenCV (do inglês, *Open Source Computer Vision Library*) [19], cujas funções de calibração de câmera fundamentam-se no modelo de câmera estenopeica (*pinhole*), considerando nesse modelo as distorções radiais e tangenciais de lentes [20].

O módulo do processo de calibração de câmera possui as seguintes etapas:

A. Detecção do padrão planar de calibração nos vídeos

Este procedimento tem como objetivo a detecção do padrão planar de calibração – os pontos do objeto – nos quadros dos vídeos – pontos de imagem – para a extração de suas respectivas coordenadas. Os pontos de objeto e os pontos de imagem são empregados na estimativa dos parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmera.

Funções da biblioteca OpenCV são utilizadas na detecção das coordenadas dos pontos de imagem, no refinamento destas coordenadas e no desenho dos pontos de imagens detectados nos quadros do vídeo, conforme ilustra a Fig. 2.

Vale ressaltar que um conjunto de pontos de imagem similares resultam em equações similares e isso pode gerar erros no processo de calibração. Desta forma, os pontos do objeto – pontos do padrão de calibração representados no

seu próprio espaço de coordenadas – e seus respectivos pontos de imagens são selecionados no módulo de calibração proposto segundo um critério parametrizável, que procura selecionar os pontos detectados de maneira esparsa, evitando-se, quando possível, repetições de conjuntos de pontos.



Figura 2. Exemplo de detecção dos cantos internos do padrão de calibração.

B. Cálculo dos parâmetros de calibração da câmera

O cálculo dos parâmetros de calibração é realizado por função do OpenCV, a qual recebe como entrada os pontos do objeto e os pontos de imagem obtidos no processo anterior e retorna como resultados a matriz da câmera, os coeficientes de distorção, a matriz de rotação, os vetores de translação e a raiz do erro médio quadrático dos cálculos.

C. Eliminação de pontos com erros de reprojeção atípicos

Cada conjunto de pontos de objeto é reprojeto na imagem utilizando-se os parâmetros de calibração encontrados. A diferença entre o ponto de objeto reprojeto e seu respectivo ponto de imagem é considerado como erro de reprojeção.

Embora quaisquer valores menores que 1 pixel são aceitáveis, são considerados neste trabalho erros de reprojeção menores ou iguais a 0,5 pixel. Portanto, são eliminados os pontos de objeto com erros de reprojeção superiores a esse limite (pontos atípicos).

D. Recálculo de parâmetros de calibração

Após a eliminação de pontos com erros de reprojeção considerados como atípicos, um novo cálculo de parâmetros de calibração é executado, visando o refinamento dos resultados.

A Figura 3 mostra um gráfico com erros de reprojeção de pontos em pixels. À esquerda na figura, são erros de reprojeção resultantes do primeiro cálculo dos parâmetros de calibração. À direita, são erros de reprojeção do segundo

⁵ Python 3.6.0 x64, com os pacotes: lmfit (0.9.5), matplotlib (2.0.0), numpy (1.12.0+mkl), opencv-python (3.2.0), pandas (0.19.2), scipy (0.18.1). Os pacotes matplotlib, numpy, opencv e scipy foram obtidos a partir de [21].

cálculo, após terem sido eliminados os pontos de objeto e de imagem com erros de reprojeção superiores ao limite estabelecido no processo anterior.

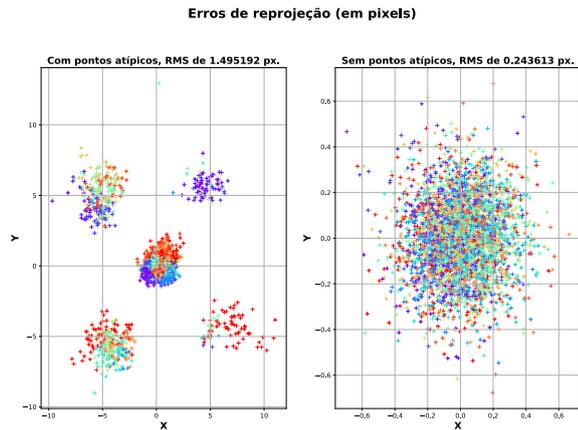


Figura 3. Erros de reprojeção e as respectivas raízes dos erros médios quadráticos (RMSE) antes e após eliminação de pontos com erros de reprojeção atípicos. O RMSE apresentado refere-se ao retornado pelo OpenCV.

A Figura 4 mostra em detalhes os parâmetros de calibração encontrados antes e após a remoção de pontos de objeto com erros de reprojeção considerados atípicos. Os valores do erro de reprojeção são desvios padrões dos erros de reprojeção em cada um dos eixos x e y, da mesma forma que em [22].

```

Resultado da calibração sobre 178 padrões encontrados.:
Distância Focal.....: f = [ 1093.544495 1055.494821 ]
Ponto principal.....: c = [ 673.839380 331.624534 ]
Inclinação.....: gamma = [ 0.000000 ]
Coeficientes de distorção: k = [ -0.404280 0.119363 0.001188 -0.004354 0.037585 ]
Erro de reprojeção.....: [ 1.045681 1.068714 ]

Resultado da calibração da câmera sobre 35 padrões encontrados, após remoção de pontos atípicos:
Distância Focal.....: f = [ 1105.658246 1066.430420 ]
Ponto principal.....: c = [ 672.925508 329.289903 ]
Inclinação.....: gamma = [ 0.000000 ]
Coeficientes de distorção: k = [ -0.400574 0.092124 0.000637 -0.002353 0.166008 ]
Erro de reprojeção.....: [ 0.176400 0.168019 ]
    
```

Figura 4. Exemplo do resultado do cálculo dos parâmetros de calibração. No destaque, erros de reprojeção encontrados em cada eixo, antes (acima na imagem) e após (abaixo) a remoção de pontos com erros de reprojeção atípicos.

E. Gravação dos parâmetros de calibração

Os parâmetros de calibração calculados são armazenados para, posteriormente, serem utilizados na idealização dos vídeos dos materiais padrão e questionados, mas especificamente, nas etapas de marcação de coordenadas da escala de referência e do alvo, descritas a seguir.

2.2.2. Realizar as Marcações de Coordenadas da Escala de Referência

Nesta etapa, as coordenadas inferior e superior (base e topo) da escala de referência de altura conhecida são marcadas, de forma manual, nos quadros do vídeo do material padrão.

As coordenadas indicadas nas marcações da escala são utilizadas como dados do processo de regressão não linear

para calcular determinados parâmetros da câmera, necessários para estimar a altura do alvo. Desta forma, uma maior densidade de pontos marcados para a escala é diretamente proporcional à probabilidade de se reproduzir as movimentações do alvo na cena.

A Figura 5 mostra o resultado das marcações de escala nos quadros de um vídeo.



Figura 5. Resultado das marcações das coordenadas da escala em um vídeo.

2.2.3. Realizar as Marcações de Coordenadas do Alvo

As marcações de coordenadas do alvo são também realizadas de forma manual nos quadros do vídeo do material questionado.

Vale salientar que é fundamental neste processo a escolha de quadros do vídeo questionado nos quais a altura estática do alvo esteja representada, especialmente, se ele se encontrava em processo de caminhada na cena. Em outras palavras, os quadros de interesse são em que o alvo é capturado durante um ciclo de marcha.

Em consonância com o trabalho de [23], durante o ciclo de marcha, a altura humana não corresponde necessariamente à sua altura estática, podendo variar em torno de 6 cm. Contudo, [24] relatam que, em pesquisas biomecânicas sobre o ciclo de marcha humana, essas variações de altura são ligeiramente menores durante o deslocamento vertical do corpo.

A fim de orientar a execução desta subfase, uma breve introdução sobre ciclo de marcha é apresentada a seguir. Um estudo mais detalhado sobre a influência da postura e o deslocamento do corpo humano na estimativa de altura em vídeos foi descrito por [24].

A. Ciclo de Marcha

Define-se marcha como a maneira e o estilo de caminhada de uma pessoa. Assim, o ciclo de marcha é o intervalo de tempo entre duas ocorrências sucessivas de um dos eventos repetitivos de caminhada [25].

O ciclo de marcha possui sete eventos – **contato inicial, dedo oposto fora, calcanhar elevado, contato inicial oposto, dedo fora, pés adjacentes e verticalização da tíbia** –, os quais dividem o ciclo em sete períodos: quatro

agrupados na **fase de apoio**, quando o pé está em contato com o piso e sustenta o peso do corpo (60% do ciclo), e; três na **fase de balanço**, quando o pé está elevado e movimentando-se para frente (40% do ciclo) (Fig. 6).

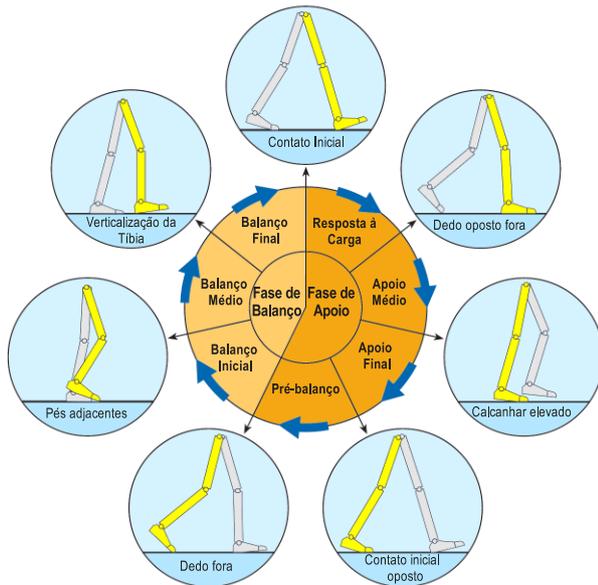


Figura 6. Terminologia do ciclo de marcha e posições das pernas durante o ciclo, considerando a perna direita, adaptado de [25].

Embora qualquer evento possa ser escolhido para definir o ciclo de marcha, é conveniente utilizar o instante em que o pé eleito como referência (direito ou esquerdo) toca o piso, ou seja, no **contato inicial**. O ciclo se encerra no próximo **contato inicial** do pé de referência.

Dentre os quatro períodos da **fase de apoio**, o **apoio médio** é o período entre os eventos “dedo oposto fora” e “calcanhar elevado”, onde a perna oposta (da fase de balanço) passa a perna de referência (da fase de apoio), a qual está apoiada no piso. Nesse período, o tronco eleva-se para o seu ponto mais alto e a velocidade de deslocamento para a frente diminui, sendo convertida para a energia potencial de altura. No final do **apoio médio**, próximo ao evento “calcanhar elevado”, o joelho tem seu pico de extensão.

O período de **apoio médio** corresponde ao **evento pés adjacentes** da **fase de balanço**. Nesse evento, o tronco também atinge sua posição mais alta e é deslocado de forma máxima sobre a perna de referência (da **fase de apoio**).

Portanto, uma pessoa caminhando (ou seja, em ciclo de marcha) estará o mais próximo de sua altura estática durante o período de **apoio médio** (pertencente à **fase de apoio**) ou no **evento pés adjacentes** (da **fase de balanço**)

B. Marcando as coordenadas do alvo

Em termos práticos, é comum encontrar ocorrências não favoráveis para se marcar as coordenadas inferior e superior (pés e cabeça) do alvo em quadros de vídeo –

como exemplo, alvos muito distantes da câmera –, ou ainda, haver incertezas sobre qual o melhor ponto para indicar a cabeça e/ou os pés.

Diante dessas ocorrências, recomenda-se definir o início do ciclo de marcha do alvo a partir do membro inferior cujo calcanhar possa ser visualizado com clareza no quadro escolhido, marcar o ponto de contato do pé com o piso e marcar a extremidade da cabeça. Este procedimento deve ser repetido em todos os ciclos de marcha, sempre respeitando o membro inferior escolhido como referência (perna direita, por exemplo).

A Figura 7 mostra um exemplo de marcações de coordenadas de um alvo.



Figura 7. Resultado de marcações de coordenadas de um alvo nos quadros de um vídeo.

Uma ferramenta de acessibilidade que auxilia a marcação de coordenadas do alvo (e da escala) é a lupa, que está presente em alguns sistemas operacionais.

A Figura 8 mostra um exemplo de marcação utilizando a lupa dos sistemas operacionais da Microsoft [26].



Figura 8. Exemplo de marcação de coordenadas de alvo utilizando a ferramenta de acessibilidade “lupa” dos sistemas operacionais da Microsoft [26].

2.2.4. Estimar a Altura do Alvo

Um método simples de calibração de câmera para estimar altura humana em vídeos produzidos por câmeras de vigilância foi proposto por [27]. Segundo os autores, a maioria das câmeras de vigilância são instaladas em locais altos e levemente inclinadas, a fim de se obter um campo de visão ideal da cena (Fig. 9). Com isso, somente três parâmetros da câmera precisam ser conhecidos: a distância focal, o ângulo de inclinação e sua altura de instalação em relação ao piso. Esses parâmetros podem ser estimados utilizando-se um modelo de regressão não linear – com ajustes baseados no método de mínimos quadrados – a partir de coordenadas de pontos das extremidades superior e inferior de uma referência de altura conhecida, marcados em quadros de um vídeo.

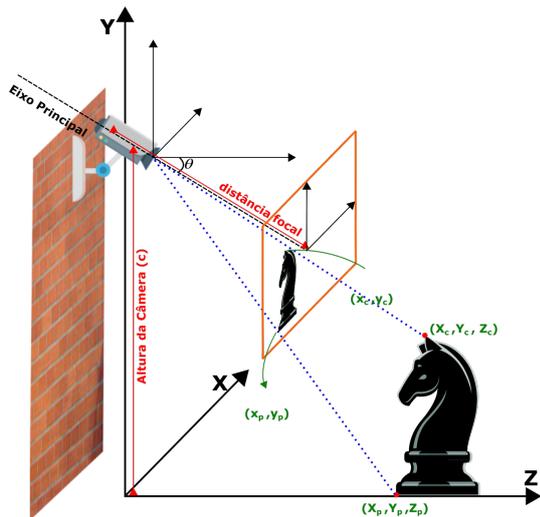


Figura 9. Instalação típica de uma câmera de sistema de vigilância e seu respectivo sistema de coordenadas, adaptado de [27].

Com somente três parâmetros desconhecidos, o modelo de regressão não linear pode fornecer um ajuste eficiente de dados, sem a necessidade de se determinar linhas de fuga e pontos de fuga (a marcação de pontos de fuga depende de uma cena geometricamente estruturada, são difíceis de se estimar e são suscetíveis a erros) nos quadros de um vídeo e sem a necessidade de se utilizar objetos de calibração no piso (como linhas paralelas ou perpendiculares).

O método de [27] utiliza como referência a matriz da câmera P , dada pela fórmula geral do modelo da câmera estenopeica utilizada para mapear os pontos do espaço tridimensional no sistema de coordenadas do ponto de imagem, conforme mostrado pela Eq. 1.

$$P = K[R|t]. \tag{1}$$

em que K é a matriz de calibração da câmera, R é a matriz de rotação e t é o vetor de translação.

Na instalação típica apresentada pela Fig. 9, pode-se assumir que os ângulos de rotação ao longo dos eixos Y e Z e as translações ao longo dos eixos X e Z são nulos. Assim, a Eq. 1 pode ser simplificada nos termos da Eq. 2:

$$P = KR_X[I|c_Y], \tag{2}$$

em que R_X é a matriz de rotação da câmera no eixo X e c_Y é o vetor de translação ao longo da direção do eixo Y .

No intuito de reduzir o número de parâmetros de calibração na matriz K , considera-se também que o ângulo de inclinação de pixels é nulo, a razão de aspecto é unitária (1:1) e os pontos principais são $[0,0]^T$. Com isso, a matriz da câmera pode ser escrita conforme a Eq. 3:

$$P = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f \cos \theta & -f \sin \theta & -fc \cos \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & -c \sin \theta \end{bmatrix}, \tag{3}$$

em que f é a distância focal, θ é o ângulo de inclinação e c é a altura da câmera.

Desta forma, o mapeamento de um ponto $(X, Y, Z)^T$ no sistema de coordenadas do mundo para um ponto $(x, y)^T$ no sistema de coordenadas do plano da imagem é dado, em coordenadas homogêneas, pela Eq. 4:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fX & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f \cos \theta Y & -f \sin \theta Z & -fc \cos \theta \\ 0 & \sin \theta Y & \cos \theta Z & -c \sin \theta \end{bmatrix}. \tag{4}$$

Representando a Eq. 4 em coordenadas cartesianas, tem-se a Eq. 5:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{fX}{\sin \theta Y + \cos \theta Z - c \sin \theta} \\ \frac{f \cos \theta Y - f \sin \theta Z - fc \cos \theta}{\sin \theta Y + \cos \theta Z - c \sin \theta} \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Uma escala de referência posicionada verticalmente em relação ao piso nas cenas de um vídeo pode fornecer um conjunto de coordenadas de pontos de suas extremidades superior (topo) e inferior (base). Contudo, por ter mais informações que a coordenada x , a coordenada y da imagem pode ser associada com a altura de um objeto de interesse na cena e fornecer uma relação básica com as coordenadas Y e Z do mundo.

Tomando-se o termo inferior da Eq. 5, considerando $\cos \theta \neq 0$ e sabendo-se que cada par de coordenadas topo-base, denotados como y_t e y_b , pode ser indicado na imagem, obtém-se o seguinte sistema com três incógnitas, apresentado na Eq. 6:

$$\begin{cases} y_b = \frac{fY_b - f \tan \theta Z_b - fc}{\tan \theta Y_b + Z_b - c \tan \theta} \\ y_t = \frac{fY_t - f \tan \theta Z_t - fc}{\tan \theta Y_t + Z_t - c \tan \theta} \end{cases}, \tag{6}$$

em que $Y_b = 0$ refere-se à coordenada Y inferior (base) e Y_t é a coordenada Y superior (topo) de uma escala de altura conhecida, e Z_b e Z_t são, respectivamente, coordenadas da base e do topo dessa mesma escala no eixo Z .

Como é mais fácil medir Y do que Z , que necessita de objetos de calibração no piso, elimina-se Z da Eq. 6 pela substituição de Z_t , do termo inferior, por Z_b , do termo superior. A equação resultante dependente dos valores de y_b e Y_t , bem como do valor estimado da coordenada y_t , denotado como \hat{y}_t , é dada pela Eq. 7:

$$\hat{y}_t(y_b, Y_t) = \frac{f(-c \tan^2 \theta + Y_t - c)y_b - f^2 \tan \theta Y_t}{\tan \theta Y_t y_b + f(\tan^2 \theta Y_t - c \tan^2 \theta - c)}. \quad (7)$$

Considerando a presença de ruídos em dados reais e ε como sendo o erro produzido pelos parâmetros de calibração estimados, y_t pode ser escrito como:

$$y_t = \hat{y}_t(y_b, Y_t) + \varepsilon. \quad (8)$$

A Equação 7 possui uma forma não linear e seus parâmetros podem ser encontrados por meio da seguinte regressão não linear, apresentada pela Eq. 9:

$$\begin{bmatrix} \hat{f} \\ \hat{\theta} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \arg \min_{f, \theta, c} \sum_{i=0}^N (\hat{y}_{t_i} - y_{t_i})^2. \quad (9)$$

Valores iniciais de $\hat{\theta}$ e \hat{c} podem ser mensurados no local onde a câmera está instalada e \hat{f} pode ser ajustado com valores que podem variar de 0,5 a 1,5 vezes a altura da imagem, se a unidade de comprimento do mundo estiver em centímetros.

Uma vez estimados os valores \hat{f} , $\hat{\theta}$ e \hat{c} , a altura de uma pessoa (\hat{Y}) pode ser calculada, considerando as coordenadas de seus pés e cabeça marcados nos quadros do vídeo, a partir da Eq. 10, escrita em função de y_b e y_t :

$$\hat{Y}(y_b, y_t) = \frac{-\hat{f}\hat{c}(\tan^2 \hat{\theta} + 1)(y_b - y_t)}{\tan \hat{\theta} y_b y_t - \hat{f} y_b + \hat{f} \tan^2 \hat{\theta} y_t - \hat{f}^2 \tan \hat{\theta}}. \quad (10)$$

A fim de garantir maior precisão nas estimativas, utilizou-se neste trabalho também as coordenadas x das - marcações do topo da escala de referência. Com isso, tomando-se o termo superior da Eq. 5, definido como x_t , a equação que determina o valor estimado x_t , denotado como \hat{x}_t , e dependente dos valores de x_b , y_b e Y_t , é dada pela Eq. 11:

$$\hat{x}_t(x_b, y_b, Y_t) = \frac{f c x_b - c x_b y_b \tan \theta}{(Y_t - c) \tan \theta y_b + f(Y_t \tan^2 \theta + c)}. \quad (11)$$

Considerando a presença de ruídos em dados reais e ε como sendo o erro produzido pelos parâmetros de calibração estimados, x_t pode ser escrito conforme a Eq.12:

$$x_t = \hat{x}_t(x_b, y_b, Y_t) + \varepsilon. \quad (12)$$

A Equação 11 também possui forma não linear. Assim, os parâmetros da câmera – distância focal (\hat{f}), ângulo de inclinação ($\hat{\theta}$) e a altura (\hat{c}) – podem ser obtidos por meio da Eq. 13, que considera tanto as coordenadas y quando as coordenadas x da extremidade superior (topo) da escala de referência:

$$\begin{bmatrix} \hat{f} \\ \hat{\theta} \\ \hat{c} \end{bmatrix} = \arg \min_{f, \theta, c} \sum_{i=0}^N ([\hat{x}_{t_i}, \hat{y}_{t_i}] - [x_{t_i}, y_{t_i}])^2. \quad (13)$$

Estimados os valores \hat{f} , $\hat{\theta}$ e \hat{c} , a altura de uma pessoa (\hat{Y}) pode ser calculada nos termos da Eq. 10.

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado neste trabalho demonstra a aplicação da metodologia proposta em um fato verídico, relacionado a um evento de homicídio documentado em Laudo de Perícia Criminal [28].

Cabe salientar que os resultados de estimativa de altura são apresentados com intervalos estimados – ou com incertezas expandidas (U) – para terem um nível de confiança⁶ de 95%⁷. A incerteza padrão combinada (u_c) é composta somente pelo desvio-padrão experimental da média (considerando que a altura é uma grandeza única e suas estimativas são normalmente distribuídas) e o fator de abrangência (k) é avaliado com base na distribuição- t (distribuição de *Student*) [29].

O fato ocorreu na área externa de uma distribuidora de bebidas, a qual era servida por câmeras de vigilância. A partir das imagens dos vídeos, foi possível observar o autor do crime aproximando-se, em processo normal de caminhada, sacar uma pistola e efetuar ao menos doze disparos contra uma vítima.

Com um suspeito preso, era necessário verificar, por meio de exame de comparação facial, se o autor do crime em apuração, registrado no material questionado (arquivos de vídeo coletados no local de crime), e o suspeito (cujas imagens foram fornecidas pelo requisitante do exame) eram ou não a mesma pessoa.

⁶ Nível de confiança ou coeficiente de confiança é o valor $(1 - \alpha)$ da probabilidade associada com um intervalo de confiança.

⁷ O nível de confiança de 95% significa que 95% dos intervalos de confiança obtidos a partir de amostras aleatórias contêm o parâmetro real, ou seja, o resultado estará dentro do intervalo de confiança em 95 de 100 estudos hipoteticamente realizados.

Da análise da qualitativa do material questionado, foram identificadas as seguintes limitações que afetavam a qualidade geral (ver subseção 1.2) da imagem da face questionada e, conseqüentemente, a obtenção de resultados satisfatórios em um exame de comparação facial (Fig. 10) [28]:

- **Obstrução de grande parte das regiões da face:** o autor do delito era visto nas imagens questionadas trajando um casaco com capuz, que obstruía regiões distintas importantes, como auricular (orelhas), bucomandibular (lateralmente à boca), labial, mental (queixo) e cervical (pescoço), deixando visíveis apenas as regiões orbital (olhos) e nasal e parcialmente as regiões zigomática (bochechas) e frontal (testa);
- **Pouca resolução na região da face:** a quantidade de pixels que representava as regiões visíveis da face não era suficiente, de modo que a ampliação apresentava efeitos de pixelização, o que impedia a visualização dos contornos das poucas regiões visíveis da face questionada, mesmo após a aplicação de técnicas de redimensionamento com interpolação de pixels;
- **Presença de artefatos de compressão:** o formato dos arquivos de vídeo analisados utilizava técnica de compressão com perdas, a qual descarta informações de alta frequência⁸ de seus quadros, a fim de reduzir o tamanho final do arquivo em disco.



Figura 10. Face do autor extraída do material questionado.

A partir da análise comparativa entre o material padrão e questionado, apenas duas características convergentes foram observadas, ambas com baixo valor distintivo⁹, entre o suspeito e o autor: **a compleição física e o formato/dimensão do dorso nasal** (Fig. 11).

Com o intuito de extrair mais informações do autor do crime em apuração (alvo) e complementar as informações descritas no parágrafo anterior, foi realizada uma estimativa de sua altura, utilizando-se a metodologia proposta.



Figura 11. Comparação entre imagens padrão e questionadas. As imagens superiores mostram a compleição entre os indivíduos e as inferiores, a dimensão do dorso nasal. Adaptado de [28].

Procedeu-se a fase de aquisição de dados no local dos fatos. Foram coletadas informações da câmera de origem, denominada de CAM4, e do local de sua instalação: altura da câmera, características da região onde o alvo foi visto, características do local de instalação da câmera e características internas da câmera (configurações); bem como, capturados o vídeo do padrão planar de calibração (utilizado para retificar os quadros do vídeo) e o vídeo da escala de referência (cujas coordenadas são empregadas no método de regressão linear).

Como resultados da fase aquisição de dados, obteve-se que: a posição de instalação da câmera (altura e campo de visão) e suas configurações eram as mesmas à época da captura do vídeo questionado, o local era coberto (não havia incidência direta de luz solar) e o piso era plano, porém este havia sido modificado (assentamento de revestimento cerâmico), como ilustra a Fig. 12.

É importante destacar que alterações realizadas no piso após a captura do material padrão influenciam, mesmo que minimamente, nos resultados de estimativa de altura, devido às elevações ou depressões que tais mudanças podem ocasionar.

⁸ O descarte informações de alta frequência resulta reduzem a visualização de detalhes como contornos e linhas na imagem, além de introduzir pequenas alterações que poderiam ser confundidas com sinais ou outras marcas na pele.

⁹ Características comuns em indivíduos de uma população.

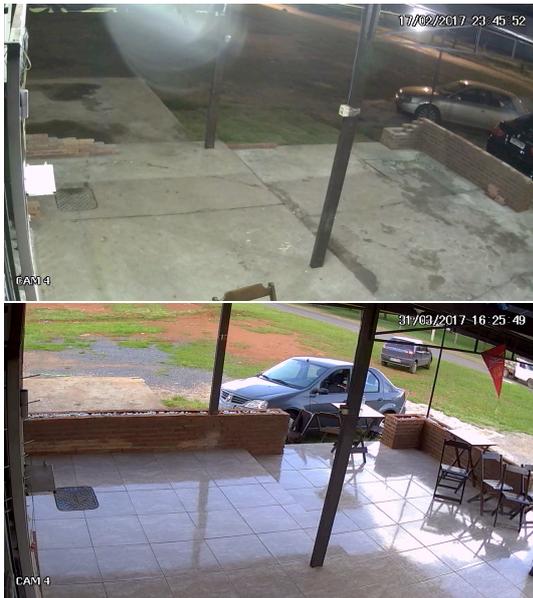


Figura 12. A fotografia acima mostra o local na data do evento delituoso e, abaixo, no momento da aquisição de dados. Observa-se o mesmo campo de visão da câmera de origem e as alterações no piso do local [28].

Na fase de análise de dados, foram obtidos os parâmetros de calibração da câmera de origem. O resultado desse processo é mostrado na Fig. 13.

```

Resultado da calibração sobre 207 padrões encontrados.:
Distância Focal.....: f = [ 1281.053398 1267.242258 ]
Ponto principal.....: c = [ 630.139506 356.573759 ]
Inclinação.....: gamma = [ 0.000000 ]
Coeficientes de distorção.: k = [ -0.462555 0.286496 0.001014 -0.000608 -0.034914 ]
Erro de reprojeção.....: [ 0.562594 0.546308 ]

Resultado da calibração da câmera sobre 41 padrões encontrados, após remoção de pontos atípicos:
Distância Focal.....: f = [ 1283.237795 1268.044319 ]
Ponto principal.....: c = [ 632.313725 359.139042 ]
Inclinação.....: gamma = [ 0.000000 ]
Coeficientes de distorção.: k = [ -0.452808 0.225438 0.000628 0.000415 0.150069 ]
Erro de reprojeção.....: [ 0.213675 0.218307 ]
    
```

Figura 13. Resultado da subfase “Calibrar a Câmera de origem”, descrita na subseção 2.2.1.

Na seqüência dessa fase, foram realizadas as marcações de coordenadas no vídeo padrão e no vídeo questionado, ambos idealizados pelos parâmetros de calibração calculados. No primeiro, foram marcadas tanto as coordenadas da escala de referência (definida com altura de 1,4 m, considerando o limite superior da faixa branca mais acima), quanto as coordenadas do perito criminal (de 1,89 m altura, considerando seus calçados), com vistas a validar o instrumento de medição do exame. No segundo, foram marcadas as coordenadas do alvo (autor do crime) em três quadros eleitos, da seguinte forma: como limite inferior, o seu pé direito (pé de apoio), no ponto de contato de seu calçado com o piso, mas especificamente na região do calcanhar (plano frontal posterior), e; como limite superior, o contorno da porção superior de sua cabeça.

A Figura 14 mostra as marcações realizadas nos quadros dos vídeos.



Figura 14. Respectivamente nas imagens superior e central, marcações de coordenadas da escala de referência e do perito criminal, realizadas em quadros do material padrão. Na imagem inferior, marcações de coordenadas do alvo feitas no material questionado. Adaptado de [28].

Os resultados de estimativas de altura utilizadas para validação, tendo como referência as alturas conhecidas da escala de referência e do perito criminal, são mostradas na Tab. 1.

Em 15 amostras (medições), a altura do alvo foi estimada em $1,79 \pm 0,01$ m ($k=2$), considerando seus calçados. Em outras palavras, a altura do autor do delito **está inserida em um intervalo entre 1,78 m e 1,80 m.**

Portanto, considerando a provável estatura do suspeito indicada no conjunto de imagens padrão (Fig. 15), a análise conjunta dos elementos anteriormente elencados (convergência das características de **compleição física e o formato/dimensão do dorso nasal**) e da **altura estimada** elevaram, no caso em estudo, o grau de plausibilidade da hipótese de que o indivíduo suspeito seja a fonte dos vestígios (o suspeito e o autor serem o mesmo indivíduo), sendo o traço biométrico brando estimado um fator preponderante para esta conclusão.

Tabela 1. Resultados de validação.

Id.	Amostras	Vlr. Verd. (A)	Média Est. (B)	Desv. Pad. Exp.	Desv. Pad. Exp. Média	Erro A-B	Resultado (k=2)
Perito	11	1,89	1,88	0,01	0,00	0,01	1,88 ± 0,00 m
Escala	25	1,4	1,40	0,04	0,01	0,00	1.40 ± 0,02 m



Figura 15. Imagem pertencente ao material padrão indicando provável estatura do suspeito do crime. Adaptado de [28].

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma solução completa para estimar, de forma semiautomática, a altura humana em vídeos de sistemas de vigilância, cuja aplicação é especialmente destinada à Criminalística.

Desenvolvida em Python e utilizando recursos da biblioteca de computação visual OpenCV, a metodologia destaca-se por apresentar detalhadamente cada uma de suas fases, que abrange desde orientações no local de crime até instruções de como obter o resultado final. Além disso, ela propõe uma rotina automática para calibração de câmera e utiliza um método de regressão não-linear que não requer cenas geometricamente estruturadas (dispensa a determinação de linhas de fuga e pontos de fuga, os quais são, em geral, difíceis de se estimar e suscetíveis a erros).

O estudo de caso demonstrou a efetividade da metodologia proposta para o uso forense, com destaque para os resultados de estimativa (altura do perito criminal e da escala de referência) utilizados como validação do instrumento de medição. No caso concreto, foi possível estimar a estatura do autor do delito de homicídio e cotejá-la com a do suspeito detido. A convergência da característica branda altura, em conjunto com as demais convergências encontradas entre ambos – compleição

física e formato/dimensão de dorso nasal, únicas obtidas perceptualmente devido às condições do material questionado – elevaram a plausibilidade da hipótese de o autor e o suspeito serem uma única pessoa.

Uma simulação utilizando cinco diferentes cenários para verificar o impacto das mudanças de perspectiva da cena capturada, ocasionadas por alterações do campo de visão da câmera, nos resultados de estimativa de altura da metodologia proposta, é apresentada em [30].

Em [30], constam também discussões sobre situações comuns que podem ser encontradas em locais de crime, como: câmeras de diversas marcas, modelos e configurações, grande distância entre o alvo e câmera, baixa qualidade dos vídeos, pisos não planos ou irregulares, compartilhamento de parâmetros de calibração entre câmeras de mesma marca/modelo e presença de ruídos nos quadros dos vídeos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal, cujo apoio foi fundamental para a participação no XXIV Congresso Nacional de Criminalística (Florianópolis/SC, 02 a 06 de outubro de 2017), bem como à Associação Brasileira de Peritos em Criminalística e à Polícia Civil do Distrito Federal, pelo incentivo à participação de eventos que visam fomentar as Ciências Forenses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.K. Jain; K. Nandakumar; X. Lu; U. Park. Integrating Faces, Fingerprints, and Soft Biometric Traits for User Recognition. *In: ECCV International Workshop on Biometric Authentication*. 259-269 (2004).
- [2] A.K. Jain; P. Flynn; A. Ross (Ed.). *Handbook of Biometrics*. Springer Science & Business Media, LLC, United States of America (2007) 1-23.
- [3] D. Meuwly. Forensic Individualization from Biometric Data. *Science & Justice* 46: 205-213 (2006).
- [4] A.K. Jain; A. Ross; S. Prabhakar. An Introduction to Biometric Recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 14: 4-20 (2004).
- [5] C.R. Valente. Curso de Inferência Lógica na Criminalística, Notas de Aula. *Instituto de Criminalística, Departamento de Polícia Técnica, Polícia Civil do Distrito Federal*. 54 (2016).

- [6] C.R. Valente. Perspectivas da Fonética Forense num Cenário de Quebra do Dogma da Unicidade. *Anais da Conferência Internacional de Ciências Forenses em Multimídia e Segurança Eletrônica – ICMedia*. 7-27 (2012).
- [7] A.K. Jain; R. Bolle; S. Pankanti (Ed.). *Biometrics: Personal Identification in Networked Society*. Springer Science & Business Media, LLC, United States of America (2006) 16.
- [8] A.K. Jain; A. Ross; S. Prabhakar. An Introduction to Biometric Recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, **14**:4-20 (2004).
- [9] Facial Identification Scientific Working Group. Guidelines for Facial Comparison Methods, version 1.0, approved on 2012/02/02, posted online in 2012/04/20. Retirado em 15/01/2017, de https://fiswg.org/FISWG_GuidelinesforFacialComparisonMethods_v1.0_2012_02_02.pdf.
- [10] A. Gonçalves Júnior; N.R.S. Costa. Laudo de Perícia Criminal nº 2.605/2017 – Exame de Unicidade por Comparação Facial. *Seção de Perícias de Biometria Forense e Audiovisuais, Instituto de Criminalística, Departamento de Polícia Técnica, Polícia Civil do Distrito Federal*. 3-4 (2017).
- [11] G.H.M. Arruda; A.L.C. Morrison. Exames de Reconhecimento Facial na Polícia Federal. *Anais da Conferência Internacional de Ciências Forenses em Multimídia e Segurança Eletrônica – ICMedia*. 78-85 (2012).
- [12] J. Heikkila; O. Silven. A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction. *In Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 1106-1112 (1997).
- [13] F. Callari, How to Verify the Correctness of Calibration of a Webcam? *Stack Overflow* (2010). Retirado em 16/02/2017, de <http://stackoverflow.com/questions/12794876/how-to-verify-the-correctness-of-calibration-of-a-webcam/12821056#12821056>.
- [14] T.A. Clarke; J.G. Fryer. The Development of Camera Calibration Methods and Models. *The Photogrammetric Record* **16**: 51-66 (1998).
- [15] Z. Zhang. A Flexible New Technique for Camera Calibration. *Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research*. 2 (1998). Retirado em 16/02/2017, de <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/tr98-71.pdf>.
- [16] E. Jeges; I. Kispal; Z. Hornak, Z. Measuring Human Height Using Calibrated Cameras. *IEEE Conference on Human System Interactions*. 755-760 (2008).
- [17] J.Y. Bouguet. Camera Calibration Toolbox for Matlab® *Computer Vision Research Group, Dept. of Electrical Engineering, California Institute of Technology* (2000). Retirado em 10/03/2017, de http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html.
- [18] Python. About. *Python Software Foundation* (2017). Retirado em 05/02/2017, de <https://www.python.org/about/>.
- [19] OpenCV, Open Source Computer Vision Library. About. *Developers Team, Itseez* (2017). Retirado em 05/02/2017, de <http://opencv.org/about.html>.
- [20] Y.M. Wang; Y. Li; J.B. Zheng. A Camera Calibration Technique Based on OpenCV. *In 3rd IEEE International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences*. 403-406 (2010).
- [21] C. Gohlke. Unofficial Windows Binaries for Python Extension Packages. *Laboratory for Fluorescence Dynamics, University of California, Irvine*. Retirado em 12/01/2017, de <https://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/>.
- [22] J.Y. Bouguet. Camera Calibration Toolbox for Matlab®, First calibration example - Corner extraction, calibration, additional tools. *Computer Vision Research Group, Dept. of Electrical Engineering, California Institute of Technology* (2000). Retirado em 12/03/2017, de http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/htmls/example.html.
- [23] A. Criminisi; A. Zisserman; L.J. Van Gool; S.K. Bramble; D. Compton. New Approach to Obtain Height Measurements from Video. *In Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* **3576**: 227-238 (1999).
- [24] N. Ramstrand; S. Ramstrand; P. Brolund; K. Norell; P. Bergström. Relative Effects of Posture and Activity on Human Height Estimation from Surveillance Footage. *Elsevier Forensic Science International* **212**: 27-31 (2011).
- [25] M.W. Whittle. *Gait Analysis: An Introduction, 4th Edition*. Butterworth-Heinemann, Elsevier, United States of America. (2007) 52-80.
- [26] Microsoft ©. Usar a Lupa para Ver Itens na Tela. Aplicável aos sistemas operacionais Windows 10, Windows 8.1 e Windows 7. *Artigo 11542, rev. 3* (2016). Retirado em 27/03/2017, de <https://support.microsoft.com/pt-br/help/11542/windows-use-magnifier>.
- [27] S. Li; V.H. Nguyen; M. Ma; C.B. Jin; T.D. Do; H. Kim. A Simplified Nonlinear Regression Method for Human Height Estimation in Video Surveillance. *EURASIP Journal on Image and Video Processing* **2015**: 32 (2015).
- [28] A. Gonçalves Júnior; N.R.S. Costa. Laudo de Perícia Criminal nº 7.972/2017 – Exame de Unicidade. *Seção de Perícias de Biometria Forense e Audiovisuais, Instituto de Criminalística, Departamento de Polícia Técnica, Polícia Civil do Distrito Federal*. 5-16 (2017).

[29] Joint Committee for Guides in Metrology. The t-distribution and degrees of freedom. *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*. JCGM 100:2008, annex G.3. Retirado em 19/03/2017, de <http://www.iso.org/sites/JCGM/GUM-JCGM100.htm>.

[30] A. Gonçalves Júnior. Metodologia forense de estimativa semiautomática de altura humana em vídeos de sistemas de vigilância. *Dissertação Mestrado Profissional*. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília (2017).