v. 8, n. 2, p. 4-6, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.451

Ciência e Direito: uma integração necessária para a aplicação da Lei

"Aquilo que não levamos em consideração é improvável que possamos corrigir."

Carl Sagan

A ciência consiste em um processo investigativo e, por natureza, requer observação metodológica cuja prática experimental é sujeita à falibilidade. Em princípio, o processo científico não precisa ter foco em casos específicos ou, ainda, estar vinculado a resultados imediatos ou à aplicabilidade desses [1]. Já o sistema jurídico é direcionado à aplicação de leis em situações individualizadas. Espera-se que a aplicação da Lei ocorra de maneira célere e com um resultado bem definido. A dúvida e a morosidade são antagônicas a uma realidade na qual se deseja ter aplicação correta da justiça.

É fato que tanto a ciência quanto o direito são instigadores da curiosidade humana. Dada a essência do procedimento científico, há grande questionamento sobre se este poderia atender os anseios do direito. Isso porque a forma de desenvolvimento e os objetivos a serem alcançados nessas duas áreas seguem caminhos aparentemente incongruentes. No entanto, a lei não pode prescindir da ciência para ser aplicada. O método científico pode ser utilizado para diversos fins e com o direito não tem sido diferente.

No processo de investigação criminal, o objetivo pericial é avaliar um fato noticiado a fim de averiguar seu ajuste a um tipo penal pré-determinado pela Lei. Para isso, é necessário desvendar a dinâmica da conduta e sua provável autoria. Resumidamente, podemos dizer que os peritos procuram descobrir a verdade por trás de uma conduta ilícita. Para que essa verdade seja conhecida, a investigação requer o auxílio da ciência.

A atividade pericial é, portanto, aquela que conecta a ciência aos requisitos da Lei. Ainda com mecanismos aparentemente incongruentes, espera-se que ciência e direito possam atuar em complementariedade para atender aos anseios da justiça no que diz respeito à resolução de crimes. A perícia não deve estar preocupada com condenações ou absolvições. As ciências devem ser a luz a orientar a decisão jurídica. Mesmo com uma série de dúvidas sobre o alcance da ciência na aplicação da Lei, essa é ainda a maneira mais confiável de se investigar [1,2].

As ciências forenses são comumente entendidas como um conjunto de conhecimentos científicos que auxiliam a resolver problemas jurídicos. No entanto, é importante que fique estabelecido que esses conhecimentos não são aplicados de maneira desconectada. A ciência forense é intrinsicamente multi e transdisciplinar. Quanto maior for a integração de

conhecimentos, maior será a confiabilidade nos resultados, concretizando a identidade das ciências forenses e sua aplicabilidade [3].

Nessa edição temos vários exemplos de como a ciência tem se reinventado para atender aos objetivos do direito, transpassando por diversas áreas do conhecimento de maneira integrada e sistematizada a fim de resolver questões importantes no procedimento de investigação.

No artigo intitulado *A Estatura como Traço Biométrico Auxiliar na Identificação de Autores de Delito* é discutido o fato de que a altura de um indivíduo pode complementar informações associadas a traços biométricos, elevando a precisão de identificação. Nesse caso, temos uma metodologia aplicada à investigação da altura humana por meio de vídeos de Sistema de Vigilância.

A identificação humana também pode se dar pela voz, por meio de métodos de fonética forense. Temos nessa edição dois exemplos que mostram a importância dessa abordagem. No primeiro deles, intitulado *Análise temporal e espectral dedicada ao reconhecimento computacional de locutores via modelamento probabilístico e determinístico*, os métodos computacionais ganham destaque na identificação dos agentes comunicantes. Foi projetado e implementado um algoritmo para a identificação biométrica de indivíduos, por meio da análise de suas vozes, comparando uma abordagem probabilística com uma determinística. No segundo obra *Avaliação de Descritores Acústicos em Simulação de Condições Forenses* foi feito o confronto entre características de dois áudios a fim de verificar a hipótese de que as falas nesses áudios foram produzidas pelo mesmo indivíduo.

As discussões sobre identificação também são importantes em casos de violência sexual. O artigo *PSA positivo, espermatozoides ausentes: vale a tentativa de obtenção de perfil genético masculino?* apresenta discussão sobre o fato de os exames de material biológico não levarem em consideração procedimentos genéticos quando há espermatozoides ausentes ou escassos. O trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de se obter um perfil genético masculino isolado de peças que resultaram PSA positivo e a pesquisa de espermatozoide negativo ou raro. A ideia foi avaliar se arquivar o caso compensaria sem que fosse feita uma avaliação genética.

A interdisciplinaridade também é ativa em casos envolvendo substâncias psicoativas. No trabalho *Dilemas na dosagem de etanol post mortem em vítimas de acidentes de trânsito* é avaliada a metodologia utilizada para identificar a concentração de álcool em vítimas fatais de acidente de trânsito. O manuscrito faz uma revisão bibliográfica sobre o tema, realçando conceitos e discutindo os desafios dessa determinação no trabalho pericial.

As substâncias psicoativas têm uma grande casuística não só no que diz respeito a álcool. Drogas de uma maneira geral compõe uma considerável parcela das avaliações forenses. Na obra *Drogas de abuso: série histórica de 2008 a 2018 das principais drogas analisadas na perícia de Roraima*, foi feita uma análise quantitativa de exames químicos de identificação de drogas de abuso durante um período delimitado de tempo a fim de comparar as tendências sobre a demanda relacionada ao consumo de cocaína e maconha no Estado de Roraima.

A violência sexual e o consumo de drogas podem estar conectados, o que aumenta a necessidade de utilizar o conhecimento transdisciplinar para a avaliação dessas condutas. No artigo

Perfil epidemiológico das vítimas de violência sexual envolvendo Drogas Facilitadoras de Crime (DFCs) foram avaliados registros de crimes sexuais envolvendo submissão química com o objetivo de correlacionar esse tipo de violência com as características epidemiológicas. O estudo foi realizado do período de 2016 a 2017 e verificou laudos toxicológicos de crimes relacionados ao uso de DFCs.

Por fim, apresentamos a resenha descritiva da obra *Insetos "Peritos" – A Entomologia Forense no Brasil*, na qual se dá um panorama bastante amplo da aplicação desta área e algumas peculiaridades e inovações no cenário nacional.

Esperamos que todos esses trabalhos possam concretizar em nossos leitores a importância da ciência não apenas para a resolução de crimes, mas, também, em criar maneiras inovativas e integradas para incrementar procedimentos de investigação.

Corpo Editorial da RBC

Aline Bruni (USP/SP)

Adelino Pinheiro Silva (IC/MG)

Bruno Telles (IC/DF)

Claudemir Rodrigues Dias Filho (IC/SP)

Rogério de Medeiros Tocantins (IGP/SC)

[1] S. Haack, Irreconcilable differences: the troubled marriage of Science and Law, *Law Contemp. Probl. 7* (2009) 1–23.

[2] C. Roux, O. Ribaux, F. Crispino, Forensic science 2020–the end of the crossroads?, *Aust. J. Forensic Sci. 50* (2018) 607–618. doi:10.1080/00450618.2018.1485738.

[3] R.M. Morgan, Forensic science. The importance of identity in theory and practice, *Forensic Sci. Int. Synerg. 1* (2019) 239–242. doi:10.1016/j.fsisyn.2019.09.001.

v. 8, n. 2, p. 7-21, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.282

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 demostrar 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 identidade[1]. 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 fonte[2] 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

[1]Devido 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 caraterísticas 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.

[2]Segundo [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 alvo[3] (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.

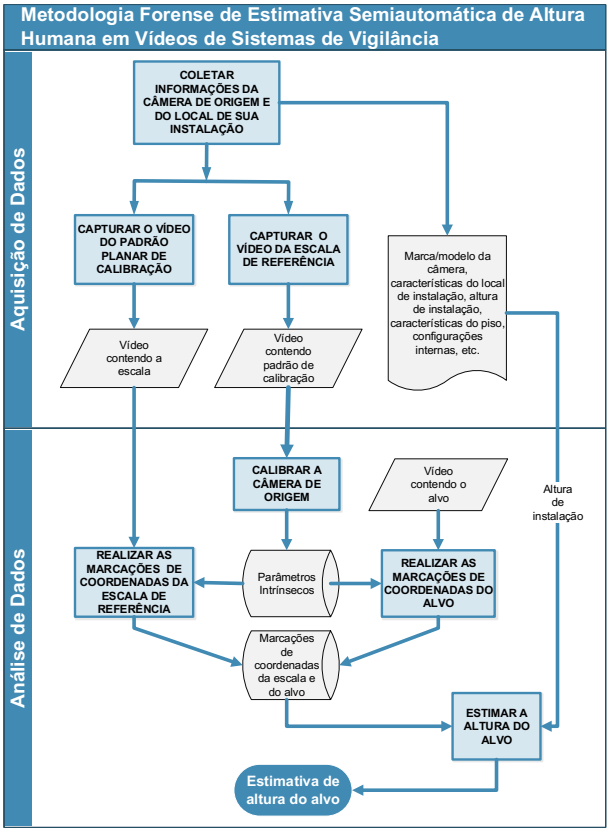

Figura 1. Diagrama contendo as fases da metodologia.

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.

São exemplos de informações que podem ser adquiridas nesta subfase:

- **Marca/modelo da câmera**: câmeras de mesma marca/modelo podem, em geral, compartilham 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.

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 impressões[4] 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, influenciado 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 calculados 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 Python[5] [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 reprojetado na imagem utilizando-se os parâmetros de calibração encontrados. A diferença entre o ponto de objeto reprojetado e seu respetivo 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.

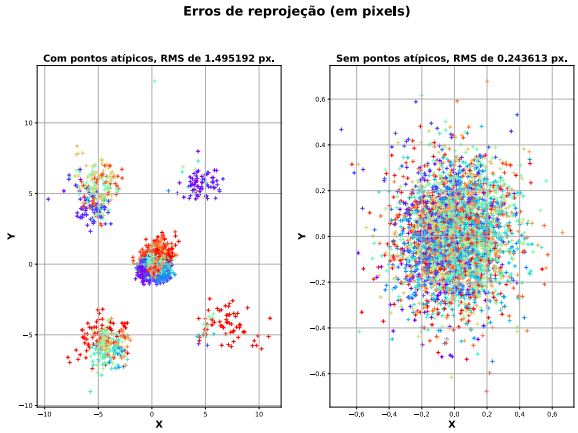

Figura 3. Erros de reprojeção e as respectivas raízes dos erros médios quadráticos (RMSE) antes e após eliminação de pontos com erros de reprojeção atípicos. O RMSE apresentado refere-se ao retornado pelo OpenCV.

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).

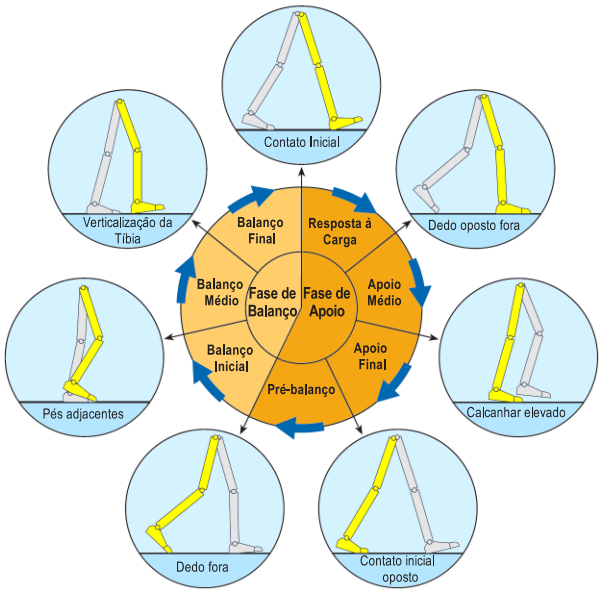

Figura 6. Terminologia do ciclo de marcha e posições das pernas durante o ciclo, considerando a perna direita, adaptado de [25].

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.

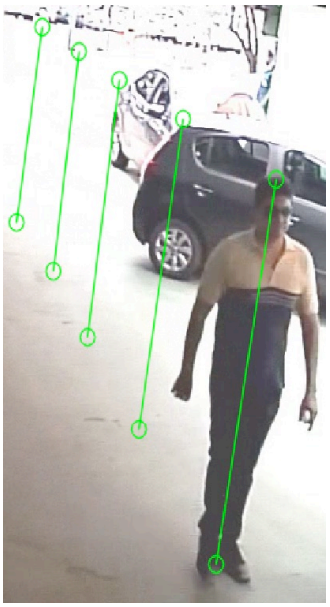

Figura 7. Resultado de marcações de coordenadas de um alvo nos quadros de um vídeo.

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.

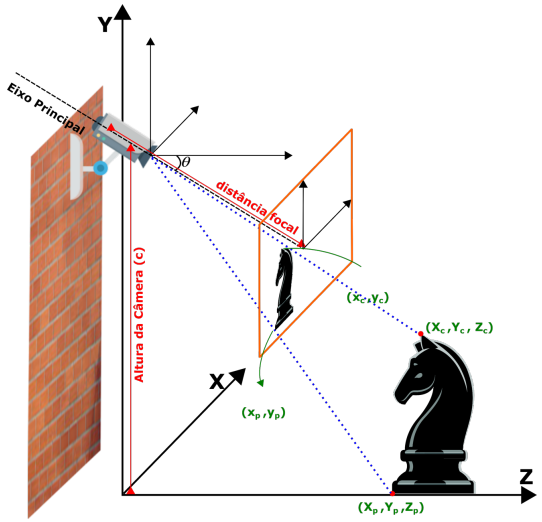

Figura 9. Instalação típica de uma câmera de sistema de vigilância e seu respectivo sistema de coordenadas, adaptado de [27].

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 Ké 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:

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

em que fé 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:

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

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

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{fX}{\text{sen}\,\theta\, Y + \cos\theta\, Z - c\,\text{sen}\,\theta} \\ \dfrac{f\cos\theta\, Y - f\,\text{sen}\,\theta\, Z - fc\cos\theta}{\text{sen}\,\theta\, Y + \cos\theta\, Z - c\,\text{sen}\,\theta} \end{bmatrix}. \tag{5}$$

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:

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

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:

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

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:

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

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:

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

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:

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

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 confiança[6] 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, consequentemente, 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 distintivas importantes, como auricular (orelhas), bucomandibular (lateralmente à boca), labial, mentual (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 frequência[8] 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 distintivo[9], 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.

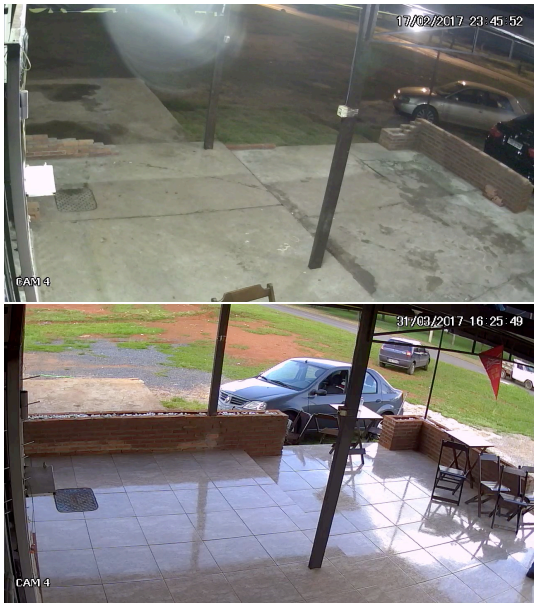

Figura 12. A fotografia acima mostra o local na data do evento delituoso e, abaixo, no momento da aquisição de dados. Observa-se o mesmo campo de visão da câmera de origem e as alterações no piso do local [28].

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 atipicos:
   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 sequência 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 ± 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 requere 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 Brasiliense 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).

v. 8, n. 2, p. 22-35, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.344

Avaliação de Descritores Acústicos em Simulação de Condições Forenses de Verificação de Locutor

A.P. Silva[a,b,c,*], M.N. Vieira[d], A.V. Barbosa[d]

[a]*Instituto de Criminalística, Polícia Civil de Minas Gerais - Av Augusto de Lima 1833, Belo Horizonte, MG, Brasil.*
[b]*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil.*
[c]*Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Newton Paiva - Rua José Cláudio Resende 420, Belo Horizonte, MG, Brasil.*
[d]*Departamento de Eletrônica, Universidade Federal de Minas Gerais - Av. Antônio Carlos 6627, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

[*]*Endereço de e-mail para correspondência: adelinocpp@yahoo.com . Tel.: +55-31-988013605*

Recebido em 25/11/2018; Revisado em 11/06/2019; Aceito em 15/08/2019

Resumo

A comparação forense de locutor (CFL) consiste no confronto entre características de dois áudios, com o objetivo avaliar cientificamente se o resultado desse confronto fortalece ou enfraquece a hipótese de que as falas nesses áudios foram produzidas pelo mesmo indivíduo. O áudio, na maioria dos casos, é oriundo de interceptações telefônicas e possui codificação GSM (*Global System Mobile*), banda estreita e ruído de canal. Nesse nicho, o presente trabalho busca explorar o potencial de características/descritores acústicos, como Componentes Mel Cepstrais e analisar o poder discriminante destas características acústicas extraídas de corpus. Os experimentos utilizaram cinco tipos de ruído em seis níveis de relação sinal ruído. Os cenários das comparações visam aproximar as condições forenses considerando a codificação GSM, a banda do sinal e o ruído de canal. Um resultado observado é uma menor taxa de erro na utilização de componentes mel-cepstrais (5% em relação sinal ruído de 15 dB), sua equivalência com outros descritores, e o efeito da presença da codificação GSM. Na análise dos descritores, percebeu-se que alguns preservam mais informação e correlação após a codificação GSM porém este fato não reflete na redução de erros na comparação dos locutores.

Palavras-chaves: Comparação Forense de Locutor, Análise cepstral, Taxa de mesmo erro.

Abstract

Forensic speaker comparison (FSC) consists of comparing unknown an known speaker audio recordings with the aim of strengthening or weakening the hypothesis that both recordings come from the same individual. In most cases, the unknown recording comes from telephone interception, which means it is narrowband, GSM-encoded and corrupted by channel noise. This work examines the discriminating power of descriptive statistics computed from acoustic features, such as Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC). In an attempt to emulate forensic conditions, the recordings were narrowband filtered, GSM encoded, and contaminated with six levels of noise. The scenarios of the comparisons aim to emulate the forensic conditions considering the GSM-encoded, the narrowband and the channel noise. An observed result is a lower error rate in the use of mel-frequency cepstrum (5 % in signal-to-noise ratio of 15 dB), its equivalence with other descriptors, and the effect of the presence of the GSM coding. In the analysis of the descriptors, it is noted that some preserve more information and correlation after the GSM-encoded, but this fact does not reflect in the reduction of errors in the speaker comparison.

Key-words: Forensic Speaker Comparison, Cepstral analyzis, Equal Error Rate.

1. INTRODUÇÃO

Na prática da Comparação Forense de Locutor (CFL) têm-se os áudios questionados, vestígios de algum fato típico, e o áudio padrão. Em regra, áudio questionado é de autoria desconhecida e oriundo de interceptação telefônica. Esse áudio é comparado com o áudio padrão, que é fornecido espontaneamente por indivíduo suspeito. O áudio padrão é

coletado em ambiente controlado por perito treinado utilizando procedimento operacional padronizado.

Em regra, os áudios questionado e padrão não possuem similaridade de contexto e, em muitos casos, o fornecedor do registro padrão não deseja ser vinculado ao áudio questionado. Em suma, a CFL busca evidências para sopesar as hipóteses de os registros, questionado e padrão, serem ou não do mesmo indivíduo.

Os levantamentos realizados por [1] e [2] indicam que a metodologia mais adotada para CFL combina análises perceptuais e acústicas. Por outro lado, a utilização de metodologias completamente automáticas e assistidas são menos utilizadas. Esses estudos também mostram que características como componentes cepstrais são menos exploradas em análises periciais.

A metanálise realizada por [3] indica que a maioria dos métodos de extração de características para verificação de locutores utiliza componentes cepstrais, em especial o MFCC (*Mel Frequency Cepstral Coefficient*) e variações. Por outro lado, trabalhos como de [4–7], mais voltados para a área forense, apresentam estudos baseados em características perceptivas, e.g., frequência fundamental e formantes.

Nesse nicho, o presente trabalho busca explorar o potencial de características não-perceptivas, como MFCC e suas variantes, em condições próximas às encontradas na prática forense, i.e., em áudios com codificação GSM, banda estreita e ruído de canal.

Também é objetivo do trabalho estudar as limitações das diferentes técnicas aplicadas em CFL no Português Brasileiro, apontar índices de validade, confiabilidade e os limites de cada técnica.

Dentro desse contexto, o presente trabalho avalia diferentes características cepstrais quando simuladas em canal GSM, contaminadas com relação sinal ruído de 25, 23, 20, 17, 15 e 12 dB. Em complementação, é apresentado um breve estudo dos efeitos da codificação GSM e uma proposta de combinação das características visando reduzir taxa de erros.

O principal método de avaliação utilizado nos experimentos será a taxa de mesmo erro EER (*equal error rate*), pois o mesmo apresenta um melhor equilíbrio na relação dos erros do tipo I e do tipo II.

A contribuição principal do presente trabalho é estabelecer limites da EER que podem ser esperados quando uma etapa da CFL é realizada utilizando um determinado descritor com os áudios contaminados por uma faixa de SNR. Este trabalho também dá os primeiros passos na exploração da combinação de descritores acústicos para aumentar a robustez de uma comparação de locutores em áudios contaminados.

A próxima seção apresenta as bases matemáticas do cálculo dos descritores acústicos, a modelagem por função densidade de probabilidade e o método de inferência utilizado. A seção 3 apresenta a base de dados utilizada, os tipos de ruído, descreve como foram realizados os experimentos e apresenta os principais resultados. Na seção 4 são apesentadas análise de ralação entre os descritores acústicos e três propostas de combinação para melhoria de robustez (i.e., redução da EER).

2. MODELAGEM ACÚSTICA

2.1. Características/Descritores Acústicos Utilizados

A extração de características consiste em transformar o sinal de áudio em um conjunto de vetores, igualmente espaçados no tempo, capazes de descrever uma característica presente no sinal de voz. Muitas vezes, em processamento de voz, a característica é denominada *descritor acústico*.

As características utilizadas neste experimento foram o MFCC (*Mel-Frequency Component Cepstrum*), MFEC (*Mel Frequency Entropy Cepstrum*), PLP (*Perceptual Linear Prediction*), PNCC (*Power Normalized Component Cepstrum*), RASTA-PLP (*Representations Relative Spectra*), SSCH (*Subband Spectral Centroid Histograms*), TEOCC (*Teager Energy Operator Component Cepstrum*) e ZCPA (*Zero-Crossing with Peak Amplitude*).

Não é o objetivo do presente texto detalhar a forma de extração de cada característica. Porém, tomando como referência o MFCC, mais difundida para a verificação automática de locutores [3], é possível obter uma visão ampla dos métodos de extração. Esses possuem etapas comuns e podem ser resumidos em pré-processamento, processamento específico e o pós-processamento, como indicado na Figura 1.

2.1.1. Pré-processamento

O pré-processamento é composto pelas etapas de pré-ênfase, divisão em quadros e o janelamento. A pré-ênfase consiste em aplicar de um filtro do tipo $y[n] = x[n] - \alpha x[n-1]$ para corrigir a declinação de 6 db/8^a do sinal de voz. Empiricamente utiliza-se o valor $0,95 \leq \alpha \leq 1$.

A divisão em quadros consiste na extração de trechos sobrepostos do sinal de voz. Neste trabalho, foram utilizados os quadros de $25\ ms$ deslocados a cada $10\ ms$. O janelamento é a multiplicação do quadro por uma função janela, que tem o efeito de suavizar os efeitos da duração do quadro.

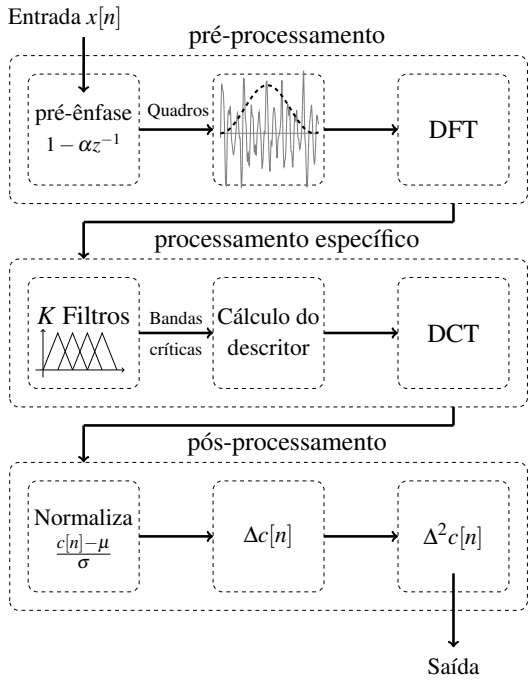

Figura 1: Diagrama de Blocos indicando as etapas, comuns e específicas, para o cálculo das características/descritores acústicos utilizados neste trabalho. No diagrama, o bloco DFT (*Discrete Fourier Transform*) corresponde a transformada discreta de Fourier, o bloco DCT (*Discrete Cosine Transform*) à transformada discreta de cossenos. Os blocos $\Delta c[n]$ e $\Delta^2 c[n]$ são definidos em [8].

2.1.2. Processamento Específico dos Descritores Acústicos

O processamento específico de cada descritor tem como entrada os quadros do sinal e como saída os C componentes cepstrais computados pela transformada discreta de cossenos (DCT-*Discrete Cossine Transform*) em cada quadro (vide Figura 1). A primeira etapa do processamento específico é a filtragem em bandas críticas.

Nessa etapa são extraídas as sub-bandas dos quadros de áudio para o cálculo do descritor. Essa etapa possui duas variantes básicas, o formato do filtro e a escala de distribuição. Nas definições do MFCC realizadas por [9] e [10] o filtro utilizado possui formato espectral triangular distribuído na escala mel. No MFCC são extraídos os logaritmos da energia de cada banda para em seguida ser calculada a DCT.

Um variação do MFCC é o PNCC, descrito em [11] e [12]. Utilizado também para verificação de locutores, o PNCC possui uma etapa de normalização que visa corrigir efeitos da variação de energia ao longo do registro de áudio. Outra diferença é a utilização do filtro gammatone em escala ERB (*Equivalent Rectangular Bandwidth*).

O PLP e o RASTA-PLP também são descritores baseados na equalização de energia. Propostos respectivamente em [13, 14], o PLP realiza a normalização com base na curva de intensidade perceptiva (*loudness*). Os filtros, separados na escala de Bark, possuem uma forma particular, são assimétricos, com região central plana e têm diferentes decaimentos exponenciais para frequências altas e baixas. A contribuição do RASTA-PLP é a aplicação de uma filtragem relativa a amplitude do espectrograma.

O MFEC e o TEOCC, explorado respectivamente por [15, 16] possuem um processamento específico semelhante. Enquanto o primeiro foi definido por filtros triangulares na escala mel, o segundo utiliza filtros de Dauberchies (6^a ordem) em tipografia de árvore. Ambos realizam o processamento da banda crítica no domínio do tempo. No caso do MFEC, é calculada a entropia e no TEOCC a energia Teager [17] por banda. Aos valores calculados são aplicados à DCT.

Diferentemente dos descritores anteriores, o SSCH [18] e o ZCPA [19] são utilizados para o reconhecimento de fala. O princípio do SSCH é separar o espectro em bandas na escala de Bark por filtros retangulares e calcular o centroide de energia de cada banda. A esses centroides são aplicados a DCT. O ZCPA utiliza filtros do tipo gammatone na escala ERB para – no domínio do tempo –, calcular um índice que pondera a taxa de cruzamento por zeros com a amplitude.

Por questões práticas, nos experimentos do presente trabalho, alguns descritores foram adaptados em relação à forma do filtro e à escala, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros dos descritores que foram utilizados no experimento para cálculo das características.

Descritor acústico	Formato Filtro	Escala
MFCC	Triangular	Mel
MFEC	Triangular	Mel
PLP	Particular	Bark
PNCC	Gamatone	ERB
RASTA-PLP	Particular	Bark
SSCH	Quadrado	Bark
TEOCC	Gammatone†	Mel†
ZCPA	Triangular†	Bark

† Alterações realizadas nos experimentos deste trabalho.

2.1.3. Pós-Processamento

O pós-processamento envolve a normalização das características utilizando a média e variância de todos os locutores [20] e o cálculo das variações temporais de primeira Δc (delta cepstrum) e segunda ordem $\Delta^2 c$, ao longo dos T quadros do áudio (mais detalhes vide [8, 20]).

2.2. Modelo do Locutor e Classificação

Para comparação de locutores, o modelo de mistura de gaussianas λ (GMM - *Gaussian Mixture Model*) representa a função densidade de probabilidade (FDP) das características $\vec{x}$ do locutor a partir da soma ponderada de distribuições normais (multidimensionais) com médias $\vec{\mu}_g$ e matriz de variância Σ_i conhecidas [8]:

$$\lambda = \{w_g, \vec{\mu}_g, \Sigma_g\} \; para \; g \; = \; 1, 2, ..., G, \qquad (1)$$

onde w_i é o peso ou fator de ponderação de cada gaussiana na mistura e G o número de distribuições.

Assim, $p(\vec{x}|\lambda)$, na Equação 2, é a probabilidade *a piori*, de os dados $\vec{x}$ terem sido gerados pelo modelo λ [8]:

$$p(\vec{x}|\lambda) = \sum_{g=1}^{G} \frac{w_g}{\sqrt{(2\pi)^D |\Sigma_g|)}} \cdot e^{-\frac{1}{2}(\vec{x}-\vec{\mu}_g)\Sigma_g^{-1}(\vec{x}-\vec{\mu}_g)^T}, \quad (2)$$

onde D é a dimensionalidade de $\vec{x}$. Desta forma, para ajustar o modelo λ, utiliza-se a maximização da expectância (EM - *Expected Maximization*) [8, 21], ajustando o modelo paramétrico do locutor λ aos dados $\vec{x}$.

Para uma observação $\vec{x}_Q$ – que representa um conjunto de medições acústicas do áudio questionado –, e o modelo de locutor λ_P – obtido da amostra padrão $\vec{x}_P$ –, é possível formalizar as hipóteses[1]:

$$H : \begin{cases} H_0 : \theta \in \Theta_0 \rightarrow & \text{a amostra } \vec{x}_Q \text{ não provém do mesmo locutor que gerou o modelo } \lambda_P; \text{ e} \\ H_1 : \theta \notin \Theta_1 \rightarrow & \text{a amostra } \vec{x}_Q \text{ provém do mesmo locutor que gerou o modelo } \lambda_P. \end{cases} \qquad (3)$$

Entrando no contexto forense, têm-se a amostra questionada $\vec{x}_Q$, a amostra padrão $\vec{x}_P$ ou seu modelo λ_P e uma base de referência $\vec{x}_{UBM}$ ou seu modelo λ_{UBM}[2]. A utilização do UBM permite avaliar a ocorrência das características e melhora o desempenho na comparação baseada em GMM.

Uma métrica que permite decidir, a partir de $\vec{x}_Q$, $\vec{x}_P$ e $\vec{x}_{UBM}$, entre as hipóteses H_0 e H_1, definidas em 3, é a razão de verossimilhança $LR(\vec{x}_Q)$ (*Likelihood Ratio*):

$$LR(\vec{x}_Q) = \frac{p(\vec{x}_Q|H_0)}{p(\vec{x}_Q|H_1)} \begin{cases} \leq \zeta_0 & H_0 \text{ não é rejeitada;} \\ \geq \zeta_0 & H_0 \text{ é rejeitada.} \end{cases} \qquad (4)$$

[1] A Hipótese na Equação 3, assim como a Equação 4, são apresentadas de forma diferente de [8] principalmente para a adequação com o cenário forense proposto neste trabalho.

[2] As amostras questionada e padrão são conjuntos de medições acústicas da voz. A amostra $\vec{x}_{UBM}$, e o respectivo modelo de fundo λ_{UMB}, é obtido a partir de um banco de vozes de áudio padrão de diferentes locutores.

Na metodologia GMM-UBM tem-se como variável de decisão a "razão de verossimilhança" obtida entre o modelo de locutor comparado λ_P e o UBM λ_{UBM} que, para fins de formulação, é calculada como o logaritmo da razão de verosimilhança (LLR *log-likelihood ratio*). A estatística $LLR(\vec{x})$ fica, assim,

$$LR(\vec{x}_Q) = \frac{p(\vec{x}_Q|\lambda_P)}{p(\vec{x}_Q|\lambda_{UBM})}$$
$$\downarrow \log()$$
$$LLR(\vec{x}_Q) = \log\left(\frac{p(\vec{x}_Q|\lambda_P)}{p(\vec{x}_Q|\lambda_{UBM})}\right), \qquad (5)$$

onde o valor da estatística $LLR(\vec{x}_Q) \in [-\infty, \infty]$.

Para comparação de amostras de voz, Reynolds e colaboradores [8] propõem que no cômputo da Equação 5 seja utilizada a média das verossimilhanças computadas em cada um dos T quadros de voz. A Equação 5, para fins de comparação de voz, toma a forma

$$\log\left(p(\vec{x}_Q|\lambda_P)\right) = \frac{1}{T}\sum_{t=0}^{T-1} \log\left(p(x_Q[t]|\lambda_P)\right). \qquad (6)$$

Onde λ é o modelo do locutor e $x_Q[t]$ é a característica questionada no quadro t. Esta normalização pela quantidade de quadros de voz foi proposta para compensar o efeito da duração dos trechos de voz.

Nota-se que esta normalização transforma o resultado da Equação 5 em uma pontuação, que devidamente calibrada, indica se é mais provável (ou não) que a amostra $\vec{x}_Q$ seja oriunda do locutor λ_P.

3. DESEMPENHO FRENTE A SIMULAÇÃO DAS CONDIÇÕES FORENSES

3.1. Configuração Experimental para Análise das Características Acústicas

Nesta etapa, foi planejado um experimento para avaliar a EER da comparação automática de locutores, utilizando a metodologia GMM-UBM, e as amostras do Corpus Cefala-1 [22] obtidas pelo aparelho celular.

Na preparação dos áudios, primeiramente foi realizada uma subamostragem para 8 kHz precedida de uma filtragem com faixa de passagem entre 300 e 3500 Hz. Cada amostra do corpus foi separada de acordo com sua etapa de coleta: a fala espontânea, leitura de texto corrido e leitura de frases isoladas.

A concatenação da etapa de leitura de texto com 66% da etapa de fala espontânea originou o *áudio padrão*. Estes áudios foram utilizados para parametrizar os modelos GMM e UBM da denominada *Base de Treinamento Não Alterada*.

A versão do áudio padrão, codificada e decodificada pelo *codec* GGSM 06.60 [23], foi utilizada para parametrizar modelos os GMM e UBM da denominada *Base de Treinamento GSM*.

Os 34% restantes da etapa de fala espontânea com a etapa de leitura de frases foram concatenados para criar o *Áudio Teste*. Este áudio, que não é representativo para a comparação forense, foi utilizado como referência para o valor da EER do experimento. A versão do *Áudio Teste* processada pelo *codec* GSM 06.60 foi denominado *Áudio Questionado*.

Os *Áudios Contaminados* foram gerados a partir dos *Áudio Teste*. Tais amostras foram contaminadas por ruídos de *Trânsito*, *Disparos*, *Multidão*[3], e ruídos *Branco* e *Rosa*. Para cada ruído buscou-se a contaminação com SNR nos valores de 25, 23, 20, 17, 15 e 12 dB, resultando em um total de 30 áudios contaminados para cada amostra. Após a contaminação, os áudios foram codificados e decodificados pelo *codec* GSM 06.60 para simular a influência do canal GSM.

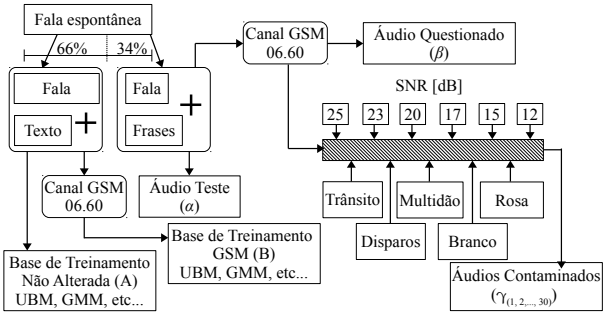

Figura 2: Diagrama apresentando como foram obtidas as amostras utilizadas no experimento de contaminação. As bases de treinamento são representadas pelas letras (A) e (B), e os conjuntos de áudio por (α), (β) e (γ).

Em resumo têm-se as seguintes amostras envolvidas no experimento:

Base de Treinamento Não Alterada Conjunto de áudios padrão utilizados para parametrizar os modelos GMM e UBM. É indicado na Figura 2 pelo quadro (A).

Base de Treinamento GSM Conjunto de áudios padrão, processados pelo *codec* GSM 06.60, utilizados para parametrizar os modelos GMM e UBM. É indicado na Figura 2 pelo quadro (B).

Áudio Teste Conjunto de amostras de áudio para comparação, retiradas diretamente do Corpus Cefala-1, utilizadas como referência nas comparações. Este conjunto é indicado na Figura 2 pelo quadro (α).

Áudio Questionado Áudios resultantes do processamento dos áudios teste pelo *codec* GSM 06.60. Este conjunto é indicado na Figura 2 pelo quadro (β).

[3]Este ruído pode ter a mesma classificação do *babble noise*.

Áudios Contaminados Áudios resultantes da contaminação e do processamento dos áudios teste pelo *codec* GSM 06.60. Este conjunto é indicado na Figura 2 pelo quadro (γ). Para cada amostra do Corpus Cefala-1 foram geradas 30 amostras contaminadas com diferentes tipos e níveis de ruído.

As 32 amostras por locutor (Teste, Questionada e Contaminadas) foram comparadas com os dois modelos GMM-UBM gerando um total de 64 resultados por locutor. Essas comparações ainda foram realizadas utilizando oito diferente descritores (ou características) que representam o sinal de voz:

- MFCC (*Mel-Frequency Component Cepstrum*);
- TEOCC (*Teager Enegy Operator Component Cepstrum*);
- PNCC (*Power Normalized Component Cepstrum*);
- ZCPA (*Zero-Crossing with Peak Amplitude*);
- SSCH (*Subband Spectral Centroid Histograms*);
- PLP (*Perceptual Linear Prediction*);
- RASTA-PLP (*Representations Relative Spectra*);
- MFEC (*Mel Frequency Entropy Cepstrum*).

3.2. Ruído Contaminante

O ruído contaminante foi escolhido com base em dois critérios. O primeiro é sobre a tipicidade de ruídos encontrados na CFL, sendo eles o ruído de trânsito, disparos e multidão. Os ruídos branco e rosa – de comportamento conhecido –, foram utilizados como parâmetros de referência.

O segundo critério foi a dinâmica temporal. Sendo que os ruído de trânsito, disparos e multidão possui uma maior variação da amplitude, enquanto os ruídos rosa e branco possuem amplitudes estacionárias.

Tabela 2: Tabela apresentando a caracterização de amplitude dos ruídos interferentes. O valor máximo que o sinal pode assumir é 1.0.

Descrição	RMS	Pico.
Trânsito de veículos.	0,057	0,412.
Disparos de arma de fogo.	0,082	0,886.
Multidão (*babble noise*).	0,065	0,502.
Ruído branco	0,339	1,000.
Ruído rosa.	0,211	0,960.

A Fig. 3 juntamente com a Tab. 2 apresentam algumas características dos ruídos contaminantes. Um detalhe observável na Fig. 3 é a amplitude não estacionária dos ruídos, com exceção dos ruídos branco e rosa[4].

[4]Os três primeiros ruídos foram obtidos em 24/12/2016 no sítio https://www.buscasons.com e são os arquivos "exterior_cidade_transito_-200905281114_longo-01.mp3", "Metrelhadora0001.mp3" e "publico_-area_grande.mp3". Estes arquivos foram convertidos para um canal e frequência de amostragem de 8 kHz. Os demais ruídos foram gerados pelo programa de edição de áudio Audacity.

A Figura 4 apresenta o espectro médio de longo termo (LTAS - long term averange spectrum) dos ruídos.

3.3. Resultados das Comparações

Passando para análise dos resultados, no gráfico RDI (*Raw-data Description and Inference*) cada coluna os pontos são as durações individuais, as curvas laterais são a distribuição de probabilidade empírica, a linha preta horizontal a média e o retângulo escuro é o intervalo de confiança da média para $\alpha = 0,05$.

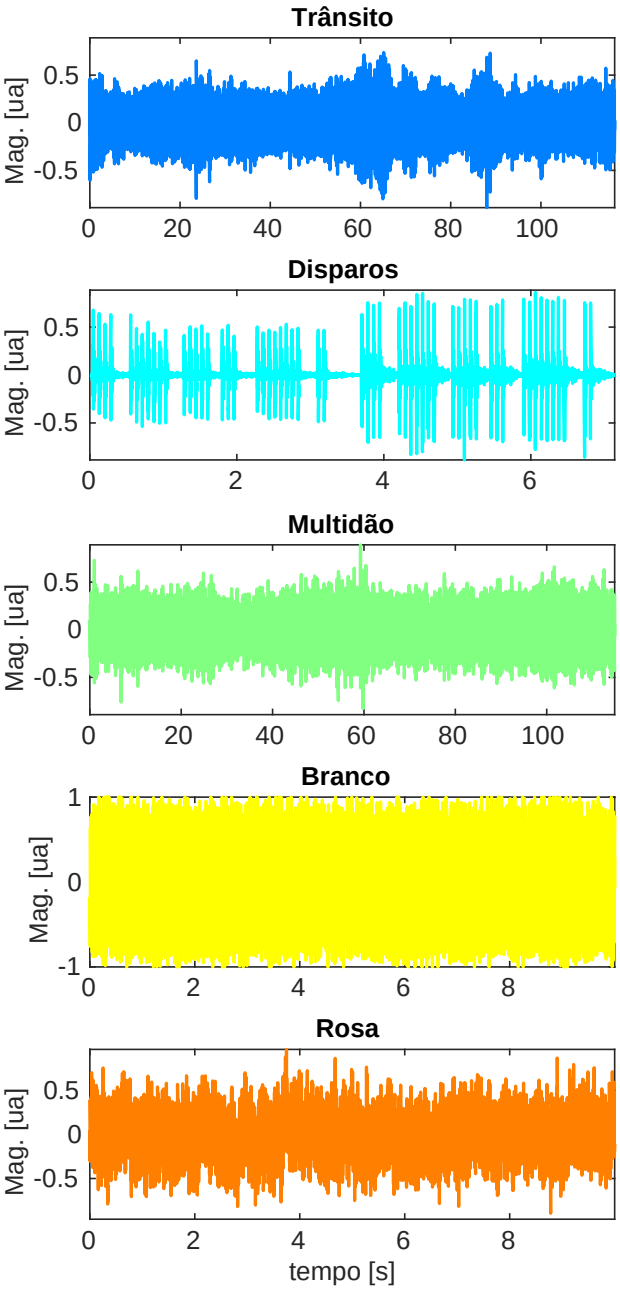

Figura 3: Caracterização dos tipos de ruído no domínio do tempo. Na imagem nota-se que os ruídos de transito, disparos e multidão não apresentam estacionariedade de amplitude

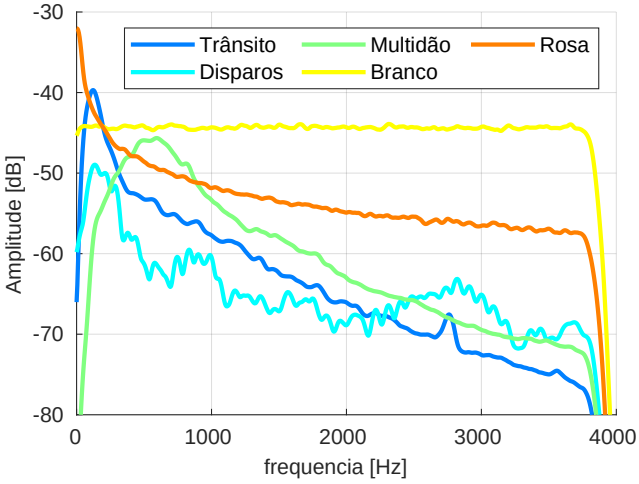

Figura 4: Espectro médio de longo termo (LTAS) dos tipos de ruído utilizados nos experimentos.

A figura 5 apresenta um recorte geral sobre a EER de cada característica, mostrando que o MFCC apresentou menor EER médio frente aos demais.

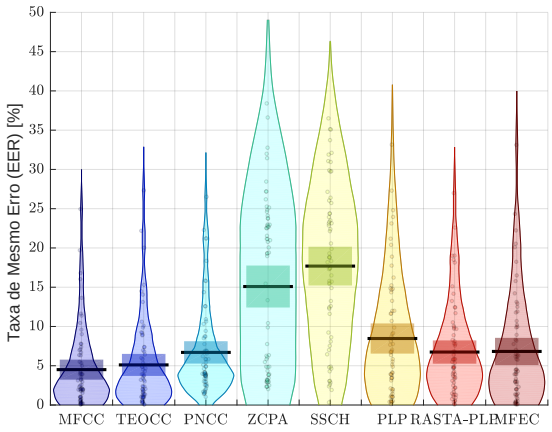

Figura 5: Gráfico RDI apresentando a diferença na taxa de mesmo erro (EER) apresentado pelas diferentes características na comparação de locutores. Em cada coluna, os pontos são as durações individuais, as curvas laterais são a distribuição de probabilidade empírica, a linha preta horizontal a média e o retângulo escuro é o intervalo de confiança da média para $\alpha = 0,05$. Nas colunas têm-se as características conforme indicado na Tabela 1 e descritos na Seção 3.1

Na análise de variância da figura 6, para um nível de significância de 5%, indica uma equivalência estatística entre as médias do MFCC com o TEOCC, PNCC, RASTA-PLP e MFEC.

Sob o ponto de vista do tipo de base de treinamento utilizada (Não-Alterada e GSM), a figura 7 mostra uma menor EER média de $12,5\%$ enquanto o GMM-UBM contaminado pelo canal GSM possui EER média de 6%. Este estes valores podem ser justificados pela influência do canal GSM no cálculo das características.

Nas comparações de locutor, 31 das 32 amostras questi-

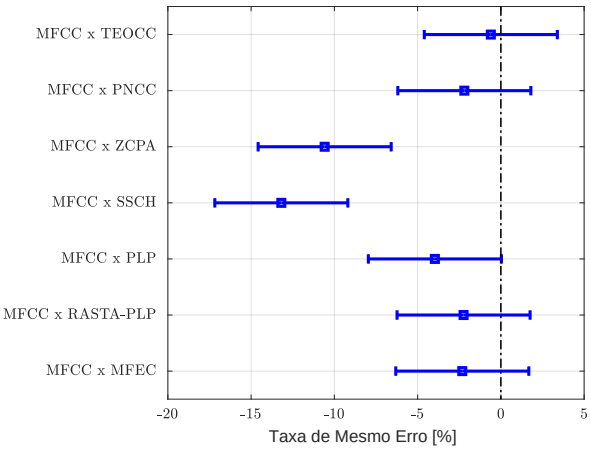

Figura 6: Analise de variância apresentando a EER do MFCC comparado com os demais descritores. Os pontos são as médias das diferenças e as linha horizontais o intervalo de confiança. A linha pontilhada vertical indica a diferença nula.

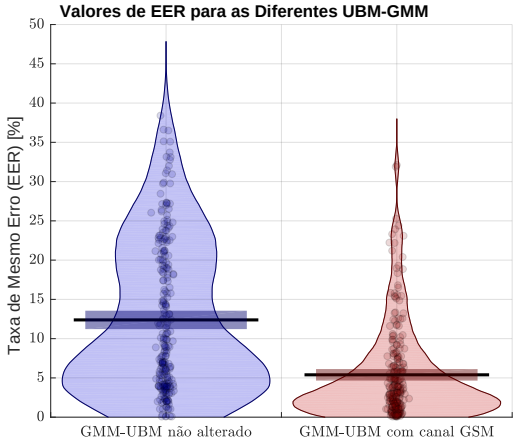

Figura 7: Gráfico RDI apresentando a diferença na taxa de mesmo erro (EER) de acordo a modelagem GMM-UBM. Vide detalhes sobre o gráfico RDI na legenda da Figura 5.

onadas por locutor foram codificadas e decodificadas pelo *codec* GSM 06.60. Desta forma, é plausível que um modelo de fundo que também foi contaminado pelo canal GSM apresente um menor valor da EER. Este resultado também deixa claro como a metodologia GMM-UBM é sensível aos dados utilizados como suporte.

Sobre os resultados que avaliam a contaminação por ruído, tem-se o resultado esperado do aumento da taxa de mesmo erro com a redução da relação sinal ruído (SNR), como apresentado na Figura 8. Entretanto, o importante deste resultado é que ele permite quantificar o quanto esperar de taxa de mesmo erro para uma determinada intensidade de ruído. Neste caso, o experimento mostrou que com uma relação sinal ruído de 17 dB tem-se uma taxa de mesmo erro médio menor que 10%.

Sobre o tipo de ruído, o branco destaca-se como o que apresenta as maiores taxas de mesmo erro (vide Figura 9). Os demais apresentam uma taxa de mesmo erro menor que 10%.

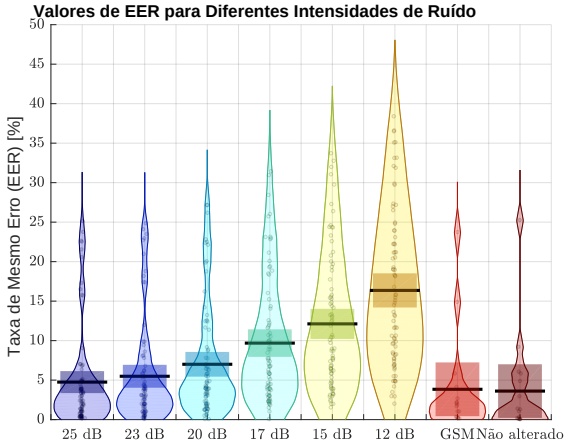

Figura 8: Gráfico RDI apresentando a diferença na taxa de mesmo erro (EER) pela relação sinal ruído (SNR). Vide detalhes sobre o gráfico RDI na legenda da Figura 5.

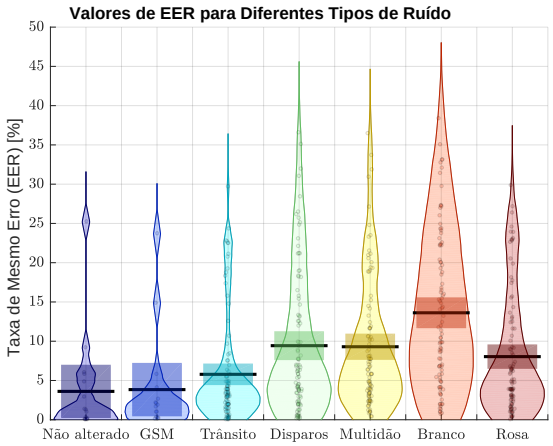

Figura 9: Gráfico RDI apresentando a diferença na taxa de mesmo erro (EER) de acordo com o tipo de contaminação. Vide detalhes sobre o gráfico RDI na legenda da Figura 5.

Nas figuras 10 a 11 são apresentados os recortes dos valores da taxa de mesmo erro para cada característica com alteração do tipo de ruído, SNR e tipo de base de treinamento apenas para modelo GMM-UBM contaminados pelo canal GSM.

Nos diagramas, cada círculo representa a combinação de uma característica, no eixo horizontal, com uma variável de controle, no eixo vertical. A abertura angular, a partir do eixo vertical no sentido horário, indica a taxa de mesmo erro na escala entre 0 e 40 $\%$. As figuras 10 e 11 apresentam resultados obtidos com UBM e GMM da base de treinamento GSM.

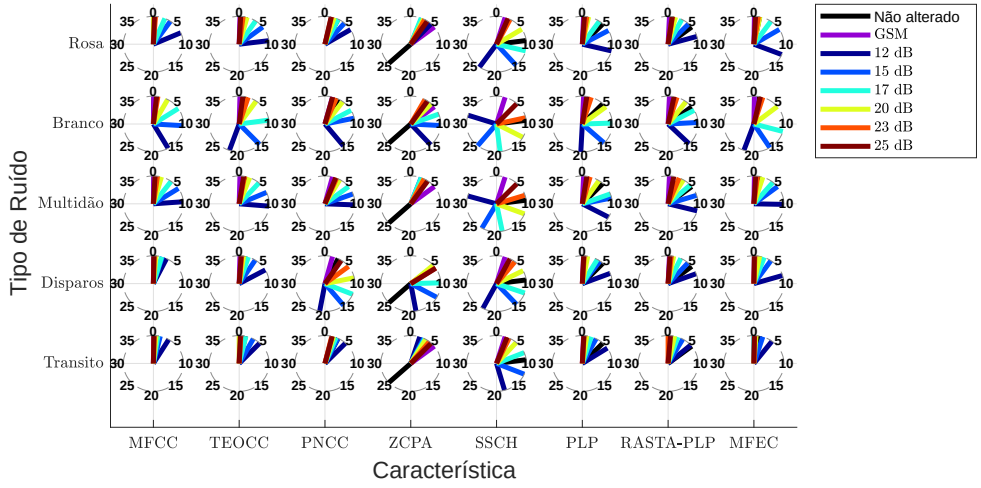

Figura 10: Gráfico apresentando a média da taxa de mesmo erro (EER) com recorte por características, tipo e intensidade de ruído para modelo GMM-UBM contaminados pelo canal GSM. Cada círculo representa a combinação de uma característica, no eixo horizontal, com uma variável de controle, no eixo vertical. A abertura angular, a partir do eixo vertical no sentido horário, indica a taxa de mesmo erro na escala entre 0 e 40 %.

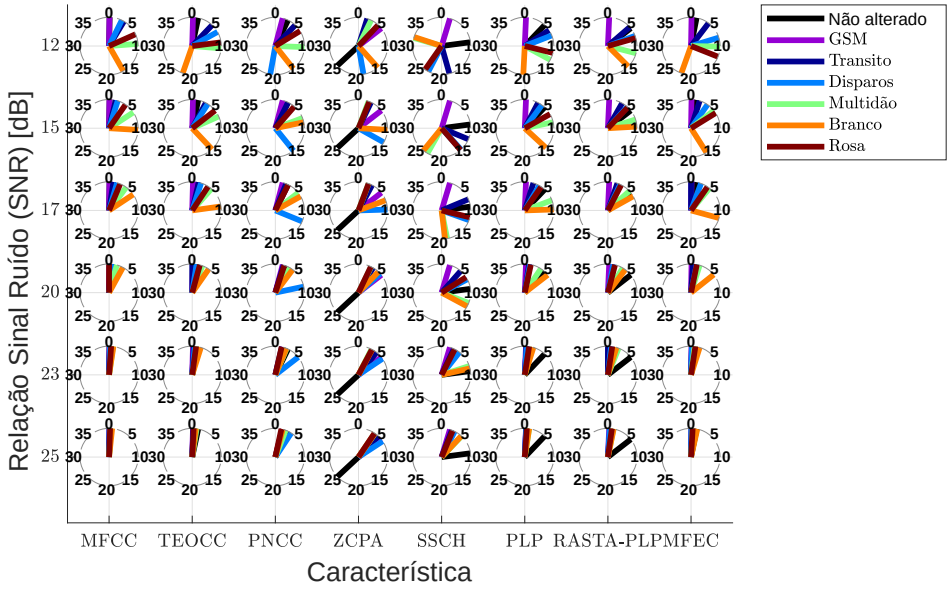

Figura 11: Gráfico apresentando a média da taxa de mesmo erro (EER) com recorte por características, tipo e intensidade de ruído para modelo GMM-UBM contaminados pelo canal GSM. Vide detalhes sobre o diagrama na legenda da Figura 10.

Na Figura 10, a variável de controle é o tipo de ruído, enquanto a SNR é representada pelas cores. Em todas os diagramas os áudios *não alterados* e *GSM* correspondem, respectivamente, a dados obtidos pelas amostras de áudio de teste e questionada.

Em um recorte específico, é possível analisar a taxa de mesmo erro quando os locutores são comparados por MFCC com os modelos GMM-UBM contaminados pelo canal GSM. A Figura 12 mostra que a EER média para uma contaminação de 15 dB é de 5%.

Sobre os resultados, o ruído branco é o que apresenta maior EER se comparado com as demais contaminações. Outro detalhe que se repete é a tendência de uma taxa de mesmo erro menor para a SNR menor.

Um resultado intuitivo é o fato de a amostra de teste apresentar uma taxa de mesmo erro elevada na base de treinamento GSM com o ZCPA (vide figuras 10 e 11).

As principais conclusões deste experimento, que agregam valor ao cenário forense, são:

- Em caso de comparação automáticas utilizando a metodologia GMM-UBM, onde a amostra questionada é contaminada pelo *codec* GSM 06.60, é recomendável que os modelos GMM e UBM sejam oriundos de áudios que também foram processados pelo *codec* GSM

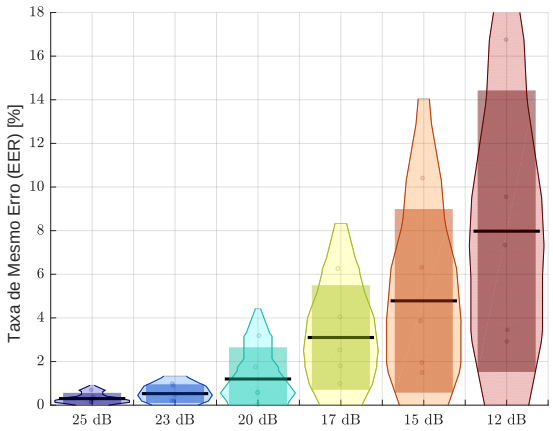

Figura 12: Gráfico RDI apresentando a diferença na taxa de mesmo erro (EER) de acordo com o tipo de contaminação – sendo a característica o MFCC GMM-UBM contaminados por GSM. Em cada coluna os pontos são as durações individuais, as curvas laterais são a distribuição de probabilidade empírica, a linha preta horizontal a média e o retângulo escuro é o intervalo de confiança da média para $\alpha = 0,05$.

06.60;

- As características MFCC, TEOCC, RASTA-PLP e MFEC foram as que apresentaram comportamento menos disperso; as últimas três apresentam menor EER para SNR acima de 17 dB com a base de treinamento GSM;
- O PNCC apresentou uma sensibilidade ao ruído de disparo de arma fogo (estampido);
- Com exceção da presença do ruído branco, o MFCC apresenta taxa de mesmo erro até $5\ \%$ para $SNR > 15\ dB$ se a base de treinamento for GSM.

É importante ressaltar que este estudo é um direcionamento que visa aproximar as condições da comparação à realidade que é encontrada nos laboratórios de áudio forense. Mais estudos precisam ser realizados e o próximo passo é apresentar uma investigação sobre os efeitos de interação entre as variáveis consideradas aqui.

4. ANÁLISES E ALTERNATIVAS PARA REDUÇÃO DE EER

Os resultados apresentados nas seções anteriores – em especial a equivalência estatística do MFCC com outros descritores (vide Fig. 6) –, motivaram uma análise exploratória dos dados para buscar responder algumas questões levantadas *a posteriori*.

A primeira delas é motivada pela menor EER quando utiliza-se o modelo GMM-UBM codificado pelo canal GSM (vide Fig. 7). A questão é qual o efeito da codificação GSM nas características acústicas da Tabela 3. Esta questão foi investigada observando as características calculadas antes e depois da codificação GSM.

A segunda questão é se a EER do MFCC pode ser superado ou melhorado pela combinação dos outros descritores. Em relação redução do EER, os autores adiantam que fora realizados apenas os estudos preliminares, com o conjunto de Áudios Questionados, e que o MFCC apresentou índices de superiores às estratégias propostas.

Diante do exposto acima os autores gostariam de informar que não foi encontrado na literatura especializada publicação com uma metodologia similar. O mais comum na literatura é a combinação do *score* obtidos por descritores ou algoritmos distintos, uma vez que os métodos de extração são semelhantes (vide Figura 1).

Em segundo lugar, este tipo de exploração não trás absolutamente nenhuma garantia que pode reduzir o EER da verificação de locutores (ou qualquer outro índice), por isso é uma análise exploratória e preliminar.

Em terceiro lugar, os descritores acústicos (vide seções 2.1 e 3.1) são consequência físico-causal de aspectos distintos da produção da fala, porém não é garantido que uma estratégia de combinação adicione informação relevante para o problema de verificar locutores ou reduza incertezas.

Adiantamos que as estratégias apresentadas para combinação das características acústicas não apresentaram redução no valor da EER. Porém, como foram resultados exploratórios e preliminares não é possível afirmar se estamos "caminhando em círculos" pois foi uma análise *a posteriori* de um experimento e, de forma alguma, as três estratégias sugeridas podem ser consideradas como únicas[5]

4.1. Relação entre as Características

Para estudar o efeito da codificação GSM no cálculo das características, foram utilizadas duas medidas: a correlação de Pearson e a informação mútua. Para cada um dos 104 locutores, foram calculadas a correlação e a informação mútua entre cada uma das 39 dimensões para cada um das 8 características extraídas antes (Áudio Teste) e após a codificação GSM (Áudio Questionado). Isto é, cada extrato de características calculada do Áudio Teste foi confrontada com sua equivalente calculada do Áudio Questionado.

As figuras 13 e 14 apresentam, respectivamente, os gráficos RDI para a correlação e para informação mútua. Nota-se nas imagens que as características que apresentam maior correlação também apresentam maior informação mútua. Este resultado não é uma confirmação definitiva, porém é um indicativo que o ZCPA, o PNCC e o MFCC são características

[5] Se considerarmos apenas a restrição de escolher 39 dimensões em um grupo de 8 descritores com 39 dimensões cada tem-se $\binom{8\times39}{39} \approx 7,7 \times 10^{49}$ combinações.

menos sensíveis à codificação GSM.

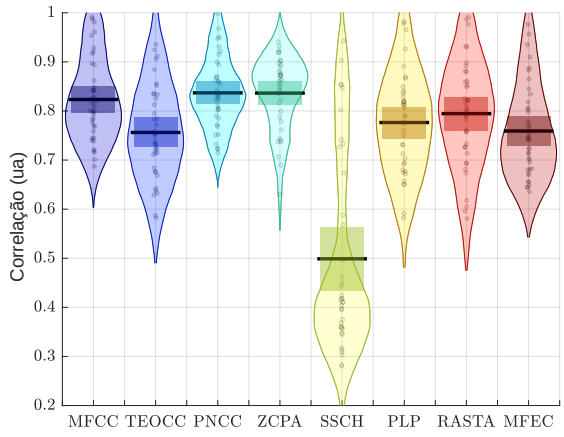

Figura 13: Gráfico RDI apresentando a correlação de Pearson entre as características calculadas antes (Áudio Teste) e após (Áudio Questionados) a codificação GSM. No gráfico, cada ponto nas colunas indica a correlação para cada um dos 104 locutores.

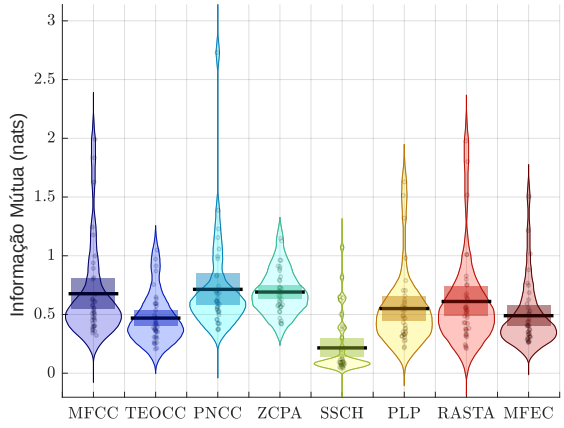

Figura 14: Gráfico RDI apresentando a informação mútua entre as características calculadas antes (Áudio Teste) e após (Áudio Questionados) a codificação GSM. No gráfico, cada ponto nas colunas indica a correlação para cada um dos 104 locutores.

Outra pergunta é o quanto dois descritores (ou características) podem estar correlacionados. Desta forma, foram calculadas a correlação de Pearson com a informação mútua entre as características extraídas do Áudio Questionado. Estas estatísticas foram calculadas ao longo das 39 dimensões relacionando as oito características par a par[6].

A Fig. 15 apresenta o perfil em cada ponto a relação da correlação de Pearson (eixo horizontal) com a informação mútua (eixo vertical) calculada utilizando logaritmo de base natural medido em unidades naturais de informação (nats - *natural unit of information*). A linha contínua – usada como referência–, indica a relação entre a correlação ρ e a informação mútua de uma variável aleatória gaussiana bidimensional. As médias par a par são indicadas por "$\times$" pretos.

Neste caso, nota-se que mesmo características que estão pouco correlacionadas possuem uma informação mútua acima da linha de referência. Naturalmente estas análises não respondem o questionamento de como as características calculadas após a codificação se relacionam com as calculadas dos áudios não codificados. Porém trata-se de um primeiro passo para entender como diferentes descritores se relacionam.

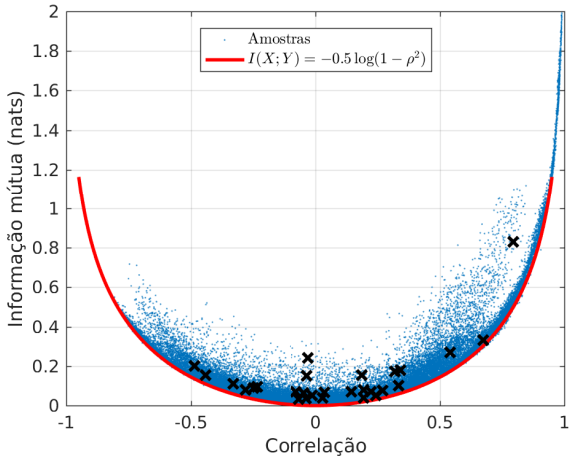

Figura 15: Gráfico indicando as ocorrências de correlação pela informação mútua (utilizando logaritmo de base natural) medido em unidades naturais de informação (nats - *natural unit of information*). Os pontos indicam cada relação para cada dimensão das diferentes características calculadas por locutor. A linha vermelha indica a relação entre a correlação de Pearson e a informação mútua de uma variável aleatória gaussiana bidimensional.

Os pares de descritores descorrelacionados e com pouca informação mútua têm potencial para serem combinados e motivaram o desenvolvimento de pelo menos uma estratégia para redução da EER descrita na próxima seção.

4.2. Estratégias para redução de EER

A presente seção propõe o estudo de combinação de características com objetivo de reduzir o EER médio na comparação de locutores. As formas de combinação das características fazem uso da premissa que as dimensões dos descritores acústicos podem ser pareadas, pois espera-se que uma dimensão em particular de alguma característica (descritor) pode apresentar um poder discriminante maior. Entretanto é importante ter em mente que as dimensões são obtidas de faixas espectrais diferentes (utilizando escala e formas de filtros diferentes, vide Tab. 1).

A hipótese então é: é possível obter uma combinação dos descritores que pode reduzir o EER médio da verificação

[6]Monta um total de oito características combinadas duas a duas em 39 dimensões dos 104 locutores. Em suma $\binom{8}{2} \times 39 \times 104 = 113568$ coeficientes de correlação.

de locutor. Para testar esta hipótese foram propostas três estratégias. A primeira, baseada na divergência de Kullback-Liebler [24], a segunda, na distância de Mahalanobis [21] e a terceira, na taxa de mesmo erro (min. EER) apresentada por cada dimensão.

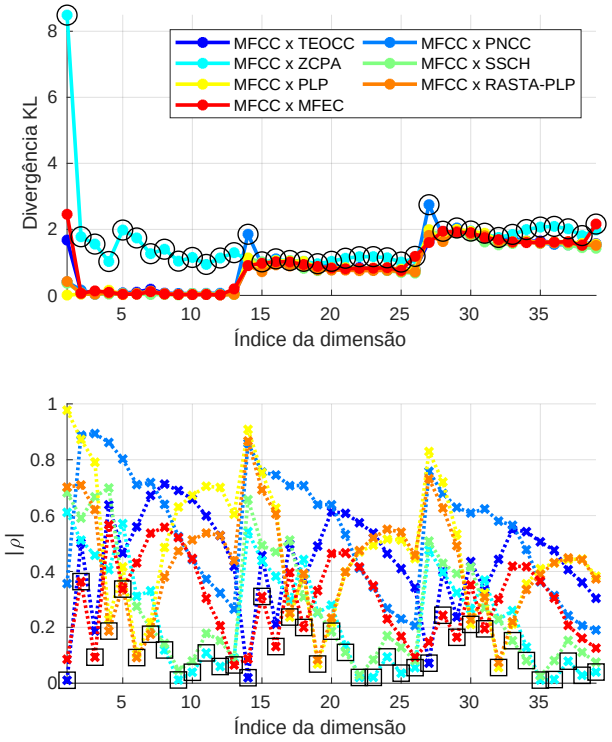

Figura 16: Divergência de Kullback-Liebler e correlação dos decritores com o MFCC. No painel superior tem-se a divergência de Kullback-Liebler, e os círculos indicam as maiores ocorrências. No painel inferior, o módulo da correlação de Pearson, e os quadrados indicam as ocorrências mais próximas de zero.

Tomando o MFCC como referência, é possível utilizar a divergência de Kullback-Liebler como uma medida de ganho de informação de uma característica em relação ao MFCC [24]. Esta estratégia, combinada com a correlação de Pearson, foi utilizada para selecionar as características para ocupar cada uma das 39 dimensões. Sendo representada por *KLD* nas figuras 18 e 19 e na Tab. 3.

O painel superior da Fig. 16 apresenta a divergência de Kullback-Liebler de cada descritor, em relação ao MFCC, para as 39 dimensões. Os descritores foram ranqueados pela maior divergência (decrescente) e menor módulo da correlação (crescente) e foram selecionados os descritores com menor soma dos ranques. A Tab. 3 indica qual descritor foi escolhido para cada dimensão utilizando a estratégia supra.

A segunda estratégia mediu a distância de Mahalanobis – em unidades arbitrárias (ua) –, entre os 104 locutores para cada dimensão dos descritores. A Fig. 17 apresenta, no painel superior, a distância de Mahalanobis média em cada dimensão. Os autores gostariam de chamar atenção para o fato de as distâncias de Mahalanobis apresentarem valores muito inferiores à unidade.

Esta estratégia visa selecionar os descritores por um processo interativo. Primeiramente, os descritores são ranqueados (ordem decrescente) em cada dimensão. Seleciona-se o descritor da primeira dimensão e este descritor forma dois pares utilizando os dois primeiros ranqueados da segunda dimensão. Destes pares seleciona-se o que apresenta a maior distância de Mahalanobis. O processo é repetido para cada dimensão (componente cepstral) até a 39^a. Esta estratégia é representada por *Maha* nas figuras 18 e 19 e na Tab. 3.

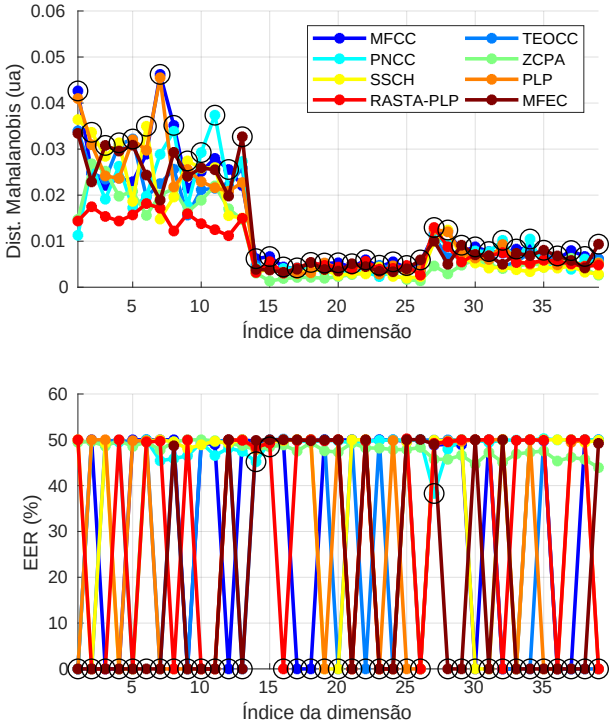

Figura 17: Distância de Mahalanobis (em unidades arbitrárias - ua) e taxa de mesmo erro (ERR) por descritor e por dimensão. Na figura do topo tem-se a distância de Mahalanobis média entre diferentes locutores. No gráfico da base tem-se a taxa de mesmo erro também para cada descritor e por dimensão.

Por fim, a estratégia de mínima EER realiza a comparação de locutor utilizando apenas uma dimensão de cada descritor por vez. Os descritores são selecionados por dois critérios, o primeiro é a menor taxa de mesmo erro e, em caso de empate, seleciona-se o descritor com menor EER geral (vide Fig. 5). Esta estratégia é representada por *min. EER* nas figuras 18 e 19 e na Tab. 3. A Fig. 17 apresenta no gráfico da base a a taxa de mesmo erro em cada dimensão dos descritores.

A EER de cada estratégia, em relação ao MFCC pode ser visualizado na Fig. 18. No painel superior tem-se a comparação da taxa de mesmo erro (EER) enquanto, no painel

inferior, o custo do logaritmo da razão de verossimilhança (C_{LLR}) calculado utilizando o logaritmo de base natural medido em nats [25].

Nota-se que o MFCC apresentou os menores índices. A comparação dos valores do logaritmo da razão de verossimilhança $LLR(\vec{x}_Q)$ de cada estratégia é apresentada no painel superior da Fig. 19. Na imagem, as barras representam o $LLR(\vec{x}_Q)$ médio enquanto as barras verticais os limites para três desvios padrões das ocorrências do $LLR(\vec{x}_Q)$. Na comparação entre áudios do mesmo locutor (barras azuis) espera-se o valor de $LLR(\vec{x}_Q)$ maior que zero e para locutores diferentes (barra vermelha), esperam-se valores inferiores a zero.

Nota-se que, no MFCC, uma menor faixa do espaço do LLR se sobrepõe (linhas verticais pretas sobre as barras), enquanto, para as demais estratégias, o intervalo de sobreposição do LLR é maior. Para fins ilustrativos, o painel inferior da Fig. 19 indica quantas dimensões de cada descritor foram utilizadas em cada estratégia.

Em relação a EER das estratégias propostas, não é uma surpresa inesperada que as combinações baseadas na divergência de Kullback-Liebler, na distância de Mahalanobis

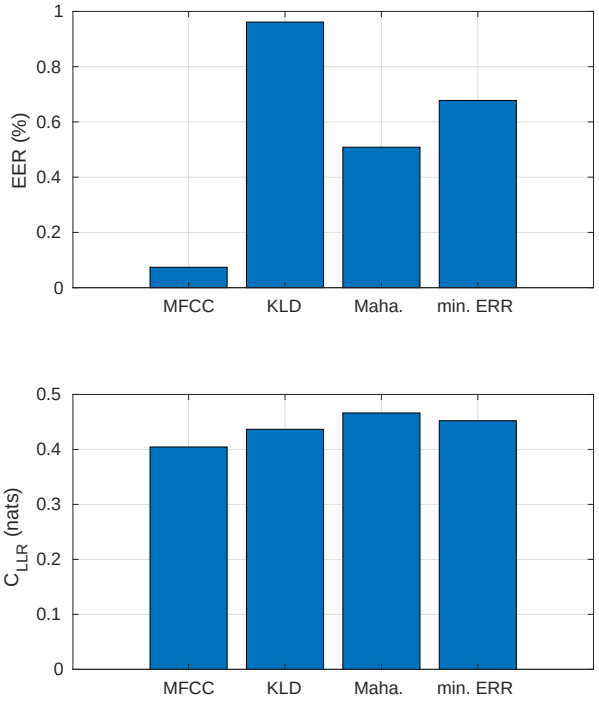

Figura 18: Desempenho das estratégias propostas frente ao MFCC. No gráfico do topo tem-se a comparação da taxa de mesmo erro (EER) enquanto no gráfico da base o custo do logaritmo da razão de verossimilhança (C_{LLR}).

Tabela 3: Características selecionadas para cada uma das estratégias de combinação de descritores.

Dim.	KLD	Maha	min-ERR
1	TEOCC	MFCC	MFCC
2	ZCPA	SSCH	TEOCC
3	MFEC	SSCH	MFCC
4	RASTA	SSCH	MFCC
5	SSCH	TEOCC	PNCC
6	RASTA	SSCH	MFEC
7	RASTA	PLP	TEOCC
8	ZCPA	MFCC	RASTA
9	ZCPA	PLP	MFCC
10	PNCC	PNCC	RASTA
11	ZCPA	MFCC	RASTA
12	SSCH	MFCC	MFCC
13	SSCH	PNCC	TEOCC
14	TEOCC	TEOCC	PNCC
15	SSCH	RASTA	ZCPA
16	TEOCC	PNCC	RASTA
17	PLP	PNCC	MFCC
18	PLP	MFEC	MFCC
19	SSCH	PLP	PLP
20	ZCPA	RASTA	TEOCC
21	PLP	MFEC	RASTA
22	PNCC	RASTA	TEOCC
23	SSCH	TEOCC	RASTA
24	SSCH	PLP	TEOCC
25	PNCC	RASTA	PLP
26	ZCPA	MFEC	MFCC
27	TEOCC	PLP	PNCC
28	ZCPA	SSCH	MFEC
29	TEOCC	MFEC	MFEC
30	PLP	PNCC	MFCC
31	SSCH	MFCC	MFEC
32	SSCH	PNCC	MFCC
33	ZCPA	MFEC	MFCC
34	SSCH	PNCC	TEOCC
35	PNCC	TEOCC	MFEC
36	SSCH	MFEC	MFCC
37	SSCH	ZCPA	MFCC
38	PNCC	PNCC	TEOCC
39	ZCPA	TEOCC	TEOCC

e na mínima EER não apresentassem melhorias. Vejamos alguns detalhes capazes de explicar estes resultados.

Primeiramente, a verificação de locutores é realizada como descrito na seção 2.2. Esta classificação é baseada na média do logaritmo da razão de verossimilhança entre o modelo de locutor padrão e o UBM (vide equações 5 e **??**). Basicamente, $LLR(\vec{x}_Q)$ maior que zero indica um grau de equivalência [26] de informação das amostras – questionada $\vec{x}_Q$ e padrão $\vec{x}_P$ –, com o modelo padrão λ_P.

Desta forma, espera-se que um descritor que apresente uma Kullback-Liebler maior que o MFCC apresente mais informação que o MFCC. Esta premissa não é falsa, mas o ganho de informação não necessariamente implica que esta informação é relevante para distinguir os locutores. Para obter sucesso com uma estratégia como esta é preciso isolar o ganho de informação que é relevante na distinção dos locutores. Esta proposta será estuda na continuidades dos trabalhos.

Sobre a distância de Mahalanobis entre os locutores, a estratégia foi baseada em medidas unidimensionais dos descritores. Como a inferência é multidimensional, a combinação de dimensões com uma distância de Mahalanobis elevada não implica no aumento desta distância entre os locutores. Mesmo que a estratégia de seleção sempre teste entre dois descritores para que a combinação agregada resulte em

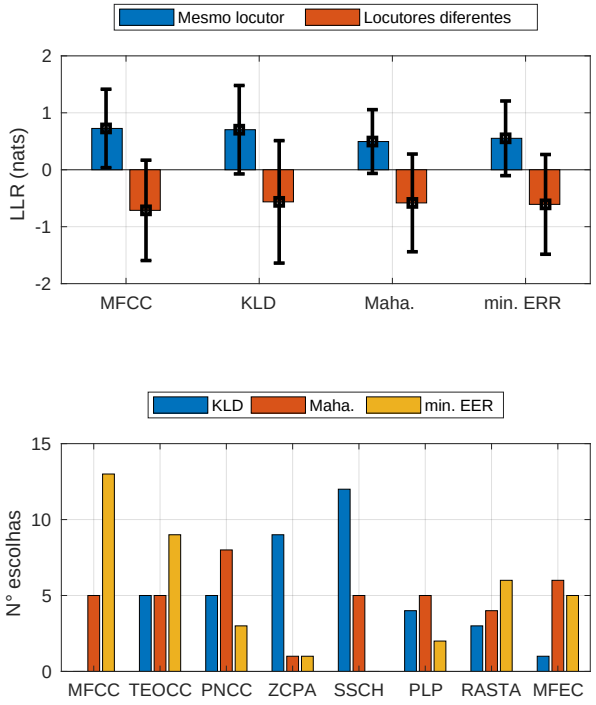

Figura 19: Desempenho das estratégias de comparação e ocorrência dos descritores. No gráfico do topo as barras representam o $LLR(\vec{x}_Q)$ médio enquanto as barras verticais os limites para três desvios padrões das ocorrências do $LLR(\vec{x}_Q)$ em comparação entre o mesmo locutor (barras azuis) e de locutores diferentes (barra vermelha). No gráfico da base tem-se a distribuição de ocorrências de ada descritor para cada estratégia proposta.

uma maior distância, o fato de combinar obrigatoriamente pelo menos um descritor por dimensão não implica em um aumento monotônico da distância de Mahalanobis.

Uma alternativa que talvez seja mais eficiente é testar as combinações que resultassem sempre no crescimento da distância de Mahalanobis média entre os locutores. Esta alternativa também será estuda na continuidades dos trabalhos.

Por fim, a estratégia de mínima EER também sofreu da mesma falha que a estratégia baseada na distância de Mahalanobis. Como as taxas foram calculadas por dimensão e por descritor, a combinação das dimensões não implica na minimização da EER das dimensões combinadas.

Por fim, ressalta-se que estas estratégias foram testadas apenas em áudios que não foram contaminados por ruído (apenas com a codificação GSM), fato que explica os valores de EER abaixo de 1%.

5. CONCLUSÕES

O estudo das características fornece informações que permitem balizar os próximos experimentos. A partir destes estudos é possível elencar as seguintes conclusões básicas:

- na média, os áudios codificados pelo *codec* GSM 06.60 apresentam menor EER se os modelos GMM-UBM são oriundos de áudios também codificados pelo *codec* GSM 06.60;
- utilizando MFCC's e UBM-GMM processados pelo *codec* GSM 06.60, a taxa de mesmo erro esperada é menor que 5% a uma SNR até 17 dB;
- apesar da equivalência estatística entre algumas características e o MFCC (vide Fig. 6), este descritor apresentou menor EER médio inclusive diante estratégias de combinação.

Ficam como propostas de continuidade uma exploração mais detalhada das técnicas de combinação dos descritores acústicos, inclusive para cenários com contaminação por ruído.

AGRADECIMENTOS

AGRADECIMENTOS SUPRIMIDOS PARA REVISÃO DUPLO CEGA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] E. Gold; P. French. International practices in forensic speaker comparison. *International Journal of Speech Language and the Law.* **18**:293–307 (2011).

[2] G.S. Morrison; F.H. Sahito; G. Jardine; D. Djokic; S. Clavet; S. Berghs; C.G. Dorny. Interpol survey of the use of speaker identification by law enforcement agencies. *Forensic Science International* **263**:92–100 (2016).

[3] S.S. Tirumala; S.R. Shahamiri; A.S. Garhwal; R. Wang. Speaker identification features extraction methods: A systematic review. *Expert Systems With Applications* **90**:250–271 (2017).

[4] Y. Kinoshita; S. Ishihara; P. Rose. Exploring the discriminatory potential of F0 distribution parameters in traditional forensic speaker recognition. *International Journal of Speech, Language & the Law* **16**:91–111 (2009).

[5] G.S. Morrison; C. Zhang; P. Rose. An empirical estimate of the precision of likelihood ratios from a forensic-voice-comparison system. *Forensic Science International* **208**:59–65 (2011).

[6] E. Enzinger; G.S. Morrison. Empirical test of the performance of an acoustic-phonetic approach to forensic voice comparison under conditions similar to those of a real case. *Forensic Science International* **277**:30–40 (2017).

[7] R.R.d. Silva; J.P.C.L. da Costa; R.K. Miranda; G. Del Grado. Aplicação do valor de base da frequência

fundamental via estatística MVKD em comparação forense de locutor. *Revista Brasileira de Criminalística* **5**:30–38 (2016).

[8] D.A. Reynolds; T.F. Quatieri; R.B. Dunn. Speaker verification using adapted gaussian mixture models. *Digital signal processing* **10**:19–41 (2000).

[9] S.B. Davis; P. Mermelstein. Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences. In *Readings in Speech Recognition*, 65–74. Elsevier (1990).

[10] D.A. Reynolds. Experimental evaluation of features for robust speaker identification. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing* **2**:639–643 (1994).

[11] D.S. Kim; S.Y. Lee; R.M. Kil. Auditory processing of speech signals for robust speech recognition in real-world noisy environments. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing* **7**:55–69 (1999).

[12] C. Kim; R.M. Stern. Power-normalized cepstral coefficients (PNCC) for robust speech recognition. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing (TASLP)* **24**:1315–1329 (2016).

[13] H. Hermansky. Perceptual linear predictive (PLP) analysis of speech. *the Journal of the Acoustical Society of America* **87**:1738–1752 (1990).

[14] H. Hermansky; N. Morgan. RASTA processing of speech. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing* **2**:578–589 (1994).

[15] M.M. Jam; H. Sadjedi. Identification of hearing disorder by multi-band entropy cepstrum extraction from infant's cry. In *Biomedical and Pharmaceutical Engineering, 2009. ICBPE'09. International Conference on*, 1–5. IEEE (2009).

[16] F. Jabloun; A.E. Cetin; E. Erzin. Teager energy based feature parameters for speech recognition in car noise. *IEEE Signal Processing Letters* **6**:259–261 (1999).

[17] R.S. Holambe; M.S. Deshpande. Noise robust speaker identification: using nonlinear modeling techniques. In *Forensic Speaker Recognition - Law Enforcement and Counter-Terrorism*, 153–182. Springer (2012).

[18] B. Gajic; K.K. Paliwal. Robust parameters for speech recognition based on subband spectral centroid histograms. In *Seventh European Conference on Speech Communication and Technology* (2001).

[19] J. Kacur; M. Varga; G. Rozinaj. ZCPA features for speech recognition. In *Telecommunications (BIHTEL), 2012 IX International Symposium on*, 1–4. IEEE (2012).

[20] R. Togneri; D. Pullella. An overview of speaker identification: Accuracy and robustness issues. *IEEE Circuits And Systems Magazine* **11**:23–61 (2011).

[21] R.O. Duda; P.E. Hart; D.G. Stork. *Pattern Classification*. John Wiley & Sons (2012), 53,136.

[22] A. Follador Neto; A. Pinheiro Silva; H. Camille Yehia. Corpus cefala-1: Base de dados audiovisual de locutores para estudos de biometria, fonética e fonologia. *Revista de Estudos da Linguagem* **27** (2019).

[23] G. ITU. Gsm full rate speech transcoding. gsm rec 06.10 (1991).

[24] I. Guyon; S. Gunn; M. Nikravesh; L.A. Zadeh. *Feature Extraction: Foundations and Applications*, volume 207. Springer (2008), 100.

[25] J. Gonzalez-Rodriguez; P. Rose; D. Ramos; D.T. Toledano; J. Ortega-Garcia. Emulating dna: Rigorous quantification of evidential weight in transparent and testable forensic speaker recognition. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing* **15**:2104–2115 (2007).

[26] G. Casella; R. Berger. *Inferência Estatística - Tradução da 2ª edição norteamericana*. Centage Learning (2011), (p. 259).

v. 8, n. 2, p. 22-36, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.358

Análise temporal e espectral dedicada ao reconhecimento computacional de locutores via modelamento probabilístico e determinístico

F. R. Silva [a,*], R. C. Guido [b]

[a] *Superintendência da Polícia Técnico-Científica, Instituto de Criminalística, Núcleo de Perícias Criminalísticas, São José do Rio Preto (SP), Brasil*
[b] *Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Unesp – Univ. Estadual Paulista (São Paulo State University), São José do Rio Preto (SP), Brasil*

**Endereço de e-mail para correspondência: fabricio.frs@policiacientifica.sp.gov.br . Tel.: +55-17-991471131.*

Recebido em 28/05/2019; Revisado em 10/06/2019; Aceito em 17/06/2019

Resumo

Dentre as áreas que constituem a ciência forense, métodos computacionais estão cada vez mais ganhando destaque na análise de vestígios criminais. Um dos casos mais frequentes da perícia é a análise de telefones celulares e gravações telefônicas, onde a identificação dos agentes comunicantes é de fundamental importância para o indiciamento ou não de um suspeito. O objetivo deste trabalho é projetar e implementar um algoritmo para a identificação biométrica de indivíduos, por meio da análise de suas vozes, comparando uma abordagem probabilística com uma determinística.

Palavras-Chave: Identificação de locutores; Processamento digital de sinais; Modelo probabilístico;

Abstract

Among the areas which are forensics, computational methods are increasingly gaining importance in criminal trace analysis. One of the most frequent cases of expertise is the analysis of mobile phones and telephone recordings, where the identification of connecting agents is of fundamental importance to the indictment or not a suspect. The objective of this work is to design and implement an algorithm for biometric identification of individuals by analyzing their voices by comparing a probabilistic approach with a deterministic.

Keywords: Speaker identification; Digital signal processing; Probabilistic model;

1. INTRODUÇÃO

Devido ao constante desenvolvimento dos computadores, tanto em termos de *hardware* quanto de *software*, os sistemas computacionais passaram a despertar o interesse de diversas áreas, tanto no âmbito acadêmico quanto na área tecnológica. Nesse contexto, como aplicação tecnológica promissora, é possível destacar a identificação biométrica por voz [1]. Registre-se que diversos trabalhos acadêmicos na área de processamento digital de voz têm sido desenvolvidos [1-3] em vista do crescente interesse acerca do tema.

Nos últimos anos, as ciências forenses [4,5] passaram a englobar a computação como ciência relevante. De maneira específica, a figura ativa no emprego de tal ciência é o perito criminal. Um bom texto acerca da importância da ciência forense computacional foi escrito por Camila Lenke, redatora do portal eletrônico *under-linux.org*, e está disponível em [6].

Por outro lado, a precariedade de instalações e equipamentos, além da grande falta de profissionais na área, tem sido alvo de constante exploração da mídia[1]. Logo, atualmente, tal aspecto tem evidenciado

[1] **Perícia criminal capixaba acumula 10 anos de atraso tecnológico**. Artigo publicado no portal *Gazeta Online* em 07/05/2015, disponível em http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2015/05/noticias/cidades/3896388-pericia-criminal-capixaba-acumula-10-anos-de-atraso-tecnologico-afirma-associacao.html. Acessado em 24/01/2019.

negativamente o belo trabalho desenvolvido diariamente pelos órgãos periciais.

Em linhas gerais, as ciências forenses são formadas pela junção interdisciplinar de diversas áreas, tais como matemática, física, química, biologia, entre outras, com o intuito de desvendar ilícitos penais. Nesse contexto, a computação se insere como sendo a ferramenta mais comum na análise de escutas telefônicas e na perícia de telefones celulares, onde, em tais casos, identificar, ou não, a voz de um suspeito pode ser fundamental para o indiciamento, ou não, do mesmo.

Vale ressaltar que já é possível encontrar trabalhos acadêmicos abordando as áreas da ciência forense, seja computacional [7] ou físico-químico biológico [8], e, ainda enfatizando tal crescimento de interesse, o último concurso público para o cargo de perito criminal da Superintendência da Polícia Técnico-Científica, realizado no ano de 2013, apresentou grande concorrência pelas vagas, sendo 22.801 inscritos para 447 vagas[2].

Portanto, em vista das considerações expostas nos parágrafos anteriores, o objetivo do presente trabalho é o estudo de conceitos inerentes à área de processamento digital de voz para, em seguida, efetuar o projeto e a implementação de um algoritmo computacional, em linguagem de programação C/C++, dependente do diálogo e com funcionamento *off-line*, que possa auxiliar a perícia criminal por meio da identificação biométrica de indivíduos com base em seus padrões acústicos.

Finalmente, o presente texto está dividido em capítulos. O capítulo 2 trata-se de uma revisão bibliográfica acerca do embasamento teórico utilizado e o capítulo 3 descreve a metodologia, incluindo a análise dos algoritmos desenvolvidos, adotada na execução do trabalho. Os resultados, devidamente comentados, são apresentados no capítulo 4. Por fim, o capítulo 5 é reservado para as conclusões. Adicionalmente, os códigos-fonte das implementações realizadas estão no apêndice.

2. ABORDAGEM TEÓRICA

O presente capítulo, abordagem teórica, tem como finalidade auxiliar no que consiste em apresentar os conceitos utilizados no decorrer do trabalho. Assim, este capítulo em dividido em seções. A seção 2.1 apresenta uma breve explanação acerca de processamento digital de sinais. As seções 2.2 e 2.3 abordam as técnicas de amostragem e quantização. Por fim, a seção 2.4 descreve as duas técnicas utilizadas para processar sinais de áudio.

2.1. Processamento Digital de Sinais (PDS)

A análise e o estudo de mídias digitais, mais precisamente arquivos de áudio, consiste como um dos ramos de estudo da área da computação conhecida como Processamento digital de sinais.

Alavancada pelo crescente desenvolvimento computacional em termo de *hardware* e *software*, a área de processamento digital, nos dias atuais, está presente nos mais diversos equipamentos tecnológicos. Tal fato baseia-se, por exemplo, na presença indispensável de sistemas digitais de áudio em MP3 *Players*, telefones celulares, *tablets*, entre outros.

A popularização identificada no parágrafo anterior impulsionou o crescimento de estudos e pesquisas na referida área. Avanços constantes de codificadores/decodificadores de sinais digitais possibilitam, atualmente, tais processos na ordem de milissegundos, sendo que tais tempos apresentam a tendência de diminuir cada vez mais.

Adentrando a parte teórica de PDS [9], o estudo de assuntos relacionados a essa área relaciona-se fortemente com a forma como sinais de áudio são representados, uma vez que se caracterizam como sinais contínuos variando temporalmente. Assim, manipular tais tipos de sinais caracteriza-se, se analisada como sinal contínuo dependente de uma variável temporal, como uma tarefa árdua e complexa.

Portanto, a utilização de técnicas de amostragem e quantização em sinais analógicos, obtendo sinais digitais, processo conhecido como conversão analógico-digital (CAD), faz-se necessária para que o estudo de tais objetos seja possível.

2.2. Amostragem

O estudo de sinais de áudio em sua forma analógica, ou seja, representados através de sinais contínuos ao longo do tempo, trata-se de uma tarefa muito difícil. Logo, uma abordagem discreta acerca do estudo de sinais analógicos se faz necessária.

A técnica de amostragem é responsável por representar um sinal analógico como um conjunto de valores discretos, ainda tomando a variável temporal como referência [9].

[2] Estatística de inscritos do concurso público estadual para o cargo de perito criminal da superintendência da polícia técnico-científica do estado de São Paulo no ano de 2013, fundação VUNESP, disponível em http://www.vunesp.com.br/PCSP1302/PCSP1302_310_011645.pdf. Acessado em 24/01/2019.

Tais elementos discretos são números que representam valores de amplitude do sinal em intervalos de tempo regulares de tempo. O processo de amostragem é ilustrado na Fig. 1.

Existem diversas possibilidades para a digitalização de sinais analógicos. Entretanto, a representação mais utilizada para este fim, na área de PDS, é a chamada modulação por código de pulso (PCM, *Pulse code modulation*) [10]. Tal representação baseia-se na amostragem de um sinal analógico em termos de sequências de números binários, os quais são mais facilmente manipulados e armazenados em sistemas computacionais.

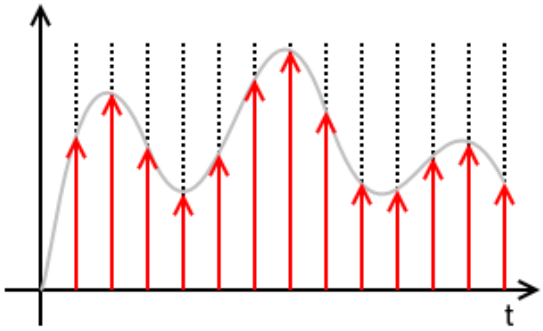

Figura 1. Amostragem de um sinal contínuo.

2.3. Quantização

As técnicas de amostragem representam sinais analógicos discretamente por meio de valores numéricos, os quais representam a amplitude do sinal, em intervalos regulares de tempo. No entanto, sabe-se que, somente com técnicas de amostragem, distâncias demasiadamente grandes entre os valores contínuos e os discretos devem ser observadas.

Assim, a técnica de quantização surge como alternativa para minimizar a distância entre os valores contínuos e discretos no processo de digitalização de um sinal analógico [9]. A Fig. 2 ilustra a diferença um sinal digital quantizado.

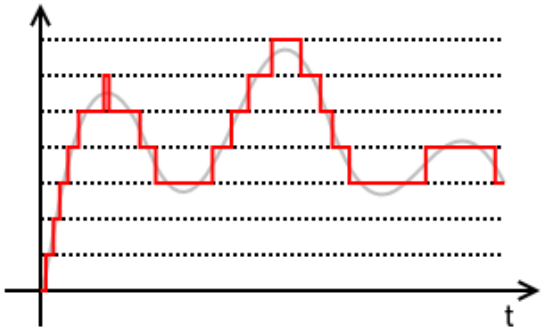

Figura 2. Sinal digital quantizado.

2.4. Processamento de sinais de voz: os conceitos de ZCR e de energia

Sinais analógicos de áudio devidamente digitalizados e quantizados, representados por meio de vetores numéricos, invariavelmente, possuem comprimentos distintos. Tal conclusão resulta do fato de que, mesmo que determinado locutor grave inúmeras amostras de voz pronunciando o mesmo conteúdo fonético, nenhuma amostra será idêntica em relação à outra.

Assim, técnicas de processamento digital de áudio se fazem necessárias para o tratamento de tais sinais digitais, de modo que os referidos vetores numéricos possam ser facilmente manipulados padronizando-os no que diz respeito seus tamanhos, logo, temos como resultado os chamados vetores de característica oriundos de um procedimento conhecido como extração de características [9].

Dentre as inúmeras técnicas utilizadas na área de PDS, podemos citar critérios como: balanceamento energético, magnitude, centroide espectral, taxa de passagem pelo zero (ZCR, *Zero-rossing rate*), entre outros [11,12].

O critério de balanceamento energético o longo do tempo e da frequência relaciona-se diretamente aos valores máximos e mínimos das frequências de um sinal. Tal critério torna-se efetivo no que consiste na distinção entre vozes de sexo feminino e do sexo masculino, sendo apropriado para situações relacionadas ao reconhecimento biométrico por voz [1]. O valor de energia, E, de um dado sinal digital é calculado através da Eq. (1):

$$E = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x^2[i], \tag{1}$$

onde $x[i]$ é a amplitude do sinal na posição i.

Já o critério ZCR baseia-se quantidade de passagens pelo zero do sinal analisado. Tal critério, em combinação com o discutido critério de balanceamento energético, adequa-se a situações de identificação biométrica por voz uma vez que proporciona uma análise combinada tempo-frequencia e auxilia na detecção de sinais audíveis, neste caso, apresentando alto balanço energético e baixa taxa de passagem pelo zero [12].

3. METODOLOGIA

O presente capítulo descreve a metodologia adotada na execução do trabalho e é dividido em três seções. A primeira seção, 3.1, descreve os procedimentos inerentes às coletas das amostras de voz para formação da base de

dados utilizada no decorrer do trabalho. A seção 3.2 relata a manipulação dos arquivos de áudio, obtidos na etapa anterior, para a extração de características dos mesmos. Por fim, na terceira e última etapa, seção 3.3, é projetado e implementado os mecanismos necessários para o reconhecimento biométrico por voz.

3.1. Formação da base de dados

A formação da base de dados, constituída por arquivos de áudio em formato *wave*, deu-se através da gravação de amostras de voz divididas entre 12 (doze) locutores distintos, sendo 7 (sete) locutores do sexo feminino e 5 (cinco) locutores do sexo masculino de diferentes faixas etárias. Vale ressaltar que o formato *wave*, *Waveform Audio File Format*, cuja extensão é *.wav*, desenvolvido pela empresa *Microsoft* em conjunto com a IBM, foi escolhido como extensão para as coletas de voz por caracterizar-se como um formato sem compressão, ou seja, é formado, basicamente, por um cabeçalho e dados brutos.

Para cada locutor foram gravados 5 (cinco) arquivos de áudio, totalizando $(12\ \text{locutores}) \times (5\ \text{amostras}) = 60\ \text{sinais}$, utilizando como conteúdo fonético a frase pré-determinada *"A justiça é cega"*.

O *software* utilizado para a obtenção dos arquivos de áudio foi o *Audacity*[3], um *software* gratuito e de fácil manuseio. Cada um dos 60 (sessenta) arquivos de áudio foi gravado com taxa de amostragem maior ou igual a 8000 amostras/seg e quantização de 16 bits, sendo que os mesmos foram editados através do próprio *Audacity* de forma que seus inícios e seus finais fossem removidos. Tal medida foi necessária para que os arquivos de áudio fossem preenchidos apenas com as vozes de seus respectivos locutores.

3.2. Extração de características

O objetivo desta etapa foi transformar discretamente cada arquivo de áudio obtido na etapa anterior em vetores de tamanhos fixos, uma vez que originalmente cada um dos arquivos de áudio da base de dados possuía tamanhos distintos entre si. Para isso, efetuamos a extração de certas características dos arquivos de áudio, de forma a gerar vetores com o número de posições fixas, vetores de característica.

Optou-se para a extração de características utilizando dois diferentes critérios, os quais foram utilizados isolados e combinados. Os critérios são a extração de parâmetros relativos às concentrações energéticas ao longo do tempo e da frequência e o critério ZCR. Definimos 8 (oito) diferentes possibilidades de extração de características, as quais possibilitaram 8 (oito) modelos distintos para a classificação biométrica por voz. Tais possibilidades são:

Modelo 1: Extração de características baseado no critério das concentrações energéticas, gerando um vetor com 9 (nove) posições.

Modelo 2: Extração de características baseado no critério ZCR, gerando um vetor com 9 (nove) posições.

Modelo 3: Extração de características baseado no critério das concentrações energéticas, gerando um vetor com 19 (dezenove) posições.

Modelo 4: Extração de características baseado no critério ZCR, gerando um vetor com 19 (dezenove) posições.

Modelo 5: Extração de características baseado na utilização de ambos os critérios, gerando um vetor com 18 (dezoito) posições. Neste caso as 9 (nove) primeiras posições são oriundas do critério das concentrações energéticas e as demais 9 (nove) posições oriundas do critério ZCR.

Modelo 6: Extração de características baseado na utilização de ambos os critérios, gerando um vetor com 38 (trinta e oito) posições. Neste caso as 19 (dezenove) primeiras posições são oriundas do critério das concentrações energéticas e as demais 19 (dezenove) posições oriundas do critério ZCR.

Modelo 7: Extração de características baseado na utilização de ambos os critérios, gerando um vetor com 28 (vinte e oito) posições. Neste caso as 9 (nove) primeiras posições são oriundas do critério das concentrações energéticas e as demais 19 (dezenove) posições oriundas do critério ZCR.

Modelo 8: Extração de características baseado na utilização de ambos os critérios, gerando um vetor com 28 (vinte e oito) posições. Neste caso as 19 (dezenove) primeiras posições são oriundas do critério das concentrações energéticas e as demais 9 (nove) posições oriundas do critério ZCR.

3.2.1. Algoritmo – Extração de características

Início;

Passo 1) Entrada de dados: Vetor de dados brutos e seu respectivo tamanho;

Passo 2) Obter a média dos valores que formam o vetor de dados brutos;

Passo 3) Transladar o vetor de dados brutos subtraindo a média obtida no passo 2 em cada uma de suas posições;

Passo 4) Calcular/acumular a quantidade de cruzamentos por zero (critério ZCR);

Passo 5) Calcular a energia total do vetor de dados brutos;

Passo 6) Calcular as posições do vetor de dados brutos que correspondem a porcentagens da energia total calculada no passo 5, dividir pelo tamanho total do vetor de dados brutos e armazenar os valores no vetor de característica;

Passo 7) Calcular as posições do vetor de dados brutos que correspondem a porcentagens do ZCR total calculada no passo 4, dividir pelo tamanho total do vetor de dados brutos e armazenar os valores no vetor de característica;

Passo 8) Imprimir todas as posições do vetor de característica;

Fim;

3.3. Projeto e implementação do classificador

Para o planejamento de um classificador adequado, inicialmente, para cada locutor, os vetores de característica obtidos dos 60 (sessenta) sinais foram representados graficamente por meio do *software* livre *Writer* (aplicativo pertencente ao pacote *LibreOffice*).

Os gráficos relativos a cada locutor foram sobrepostos, possibilitando a verificação da similaridade entre as curvas obtidas para um mesmo locutor e diferenças consideráveis entre as curvas de locutores distintos. Por meio da análise anterior concluiu-se que um classificador baseado em uma distribuição Gaussiana seria suficiente para a obtenção de bons resultados, a qual está definida na Eq. (2):

$$Locutor_k = \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^{j} \left(x[i] - \mu_k[i] \right)^2}{2\sum_{i=1}^{j} \sigma_k^2[i]} \right], \quad (2)$$

onde $x[i]$ corresponde a posição i do vetor de entrada, $\mu_k[i]$ corresponde a posição de média i referente ao locutor k e $\sigma_k[i]$ corresponde a posição de variância i do locutor k.

Para a devida utilização da Eq. (2), obtemos valores estatísticos de média e variância para o conjunto de 5 (cinco) vetores de característica de cada um dos locutores. Neste caso, foram utilizadas funções próprias do *Writer* para obter tais valores de estatísticos.

3.3.1. Algoritmo – Classificador

Início;

Passo 1) Entrada de dados: Posições do vetor de característica do arquivo de áudio analisado;

Passo 2) Com base no vetor de característica (entrada) e nos valores estatísticos, calcular as probabilidades de correspondência, utilizando a distribuição gaussiana, para cada um dos locutores da base de dados;

Passo 3) Guardar o índice que corresponde ao locutor mais provável;

Passo 4) Imprimir o índice do locutor mais provável com seu respectivo valor de probabilidade;

Fim;

4. RESULTADOS

Devido a metodologia apresentar diversos passos de análise, por simplicidade, são apresentados apenas os resultados acerca do modelo que mais se adequou ao problema proposto pelo trabalho, entretanto, é válido ressaltar que foram testados 8 (oito) modelos distintos, sendo que os procedimentos aqui apresentados foram repetidos por mais 7 (sete) vezes.

Foram testados 8 (oito) possibilidades para o vetor de característica, gerando 8 (oito) modelos distintos. Entretanto, o modelo mais adequado, apresentando porcentagem de acertos de 70%, foi o modelo que teve o vetor de característica composto por 19 (dezenove) posições oriundas apenas do critério ZCR.

Logo, após a devida coleta e formação da base de dados, o algoritmo desenvolvido para extração de característica foi utilizado gerando vetores de característica para cada amostra de voz, os quais, para cada locutor, foram graficados e estão apresentados na Fig. 3.

Analisando os gráficos da Fig. 3 é possível observar diferenças no comportamento da curva para cada locutor. Assim, concluímos que, como discutido no capítulo anterior, a utilização da distribuição Gaussiana de probabilidades seria suficiente para classificar efetuar o trabalho de classificação entre tais indivíduos.

Entretanto, antes de utilizar a distribuição gaussiana para efetuar a classificação, Eq. (2), obtemos valores esta-

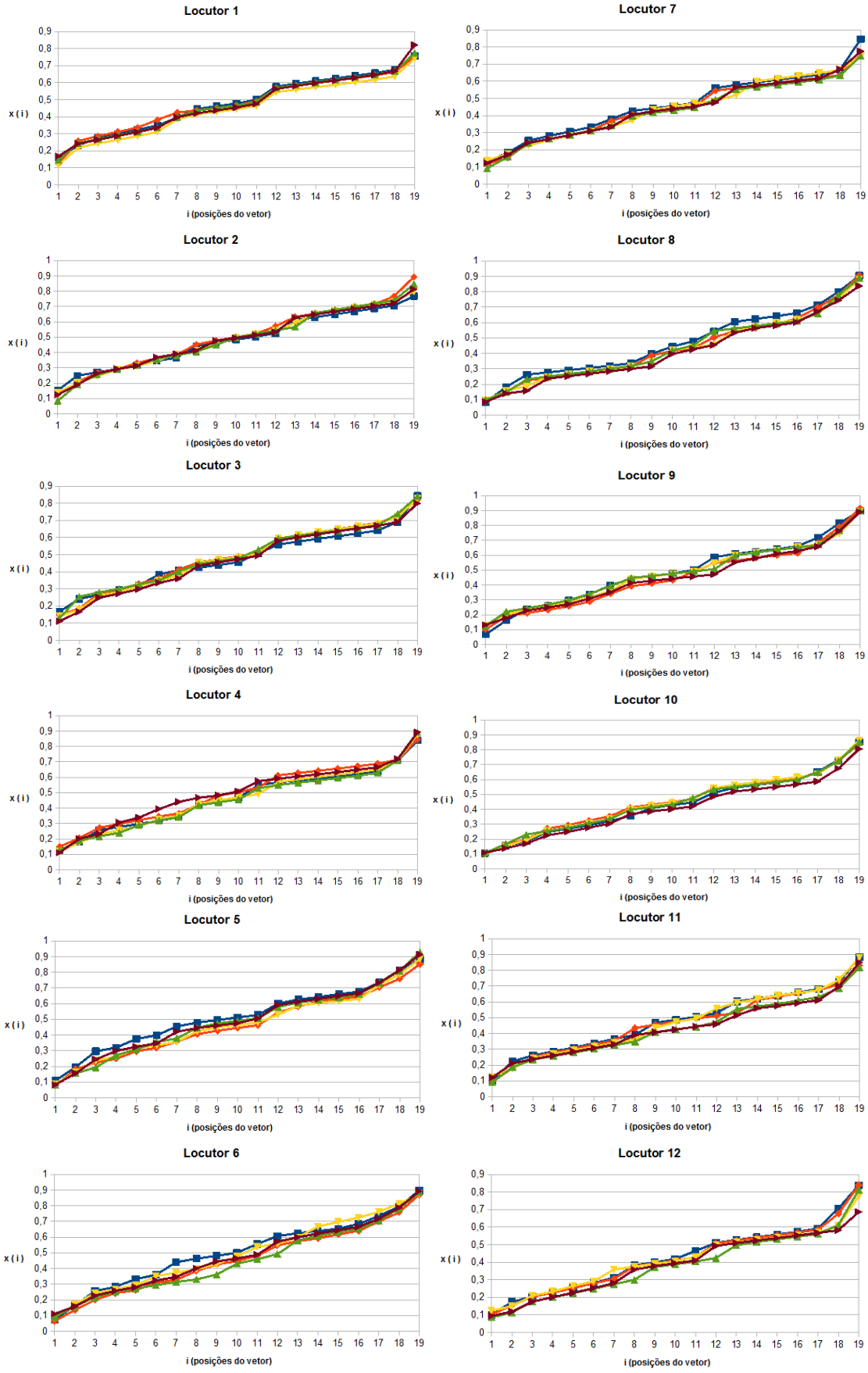

Figura 3. Gráficos: vetor de característica em função da posição.

tísticos de média e variância para cada um dos 12 (doze) locutores. Para fins de ilustração, a Fig. 4 expõe os gráficos da média, μ, e da variância, σ^2, para o locutor 1. Vale ressaltar que a escolha do locutor 1 foi feita de maneira aleatória, sem fins específicos.

Colocando os valores de média e variância para todos os locutores da base de dados no algoritmo classificador foi possível testar cada um dos 60 (sessenta) sinais coletados, de forma que os resultados obtidos estão expressos na seguinte matriz de confusão, onde, para melhor interpretação da mesma, valores no decorrer das linhas devem indicar o que deve ocorrer idealmente e valores ao longo das colunas devem indicar os resultados obtidos por meio do classificador.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
L1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L2	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
L3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L4	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
L5	0	1	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0
L6	0	0	0	0	2	3	0	1	0	0	2	0
L7	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
L8	0	0	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0
L9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
L10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
L11	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	3	0
L12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5

Portanto, analisando a matriz de confusão representada, a diagonal principal representa a quantidade de acertos obtidos pelo classificador implementado. Assim, do total de 60 (sessenta) sinais analisados, o classificador obteve 42 (quarenta e dois) acertos, indicando uma porcentagem de acertos de 70%.

Por fim, a Tab. 1 indica as porcentagens de acerto obtidas por todos os modelos testados. Percebe-se, pela análise da Tab.1, acurácias na faixa de 41,67% até 70%. No primeiro caso, a acurácia teve como base uma análise por vetores de características compostos por 9 posições de energia, implicando em uma análise de cunho temporal e sem detalhamento. Por outro lado, no segundo caso, a acurácia teve por base uma análise mais refinada, contando com 19 posições do critério ZCR. Assim, entende-se que a análise em frequência, oriunda dos ZCRs, foi determinante. Esse resultado condiz com aqueles encontrados na literatura da área [1].

5. CONCLUSÕES

Após o estudo, projeto e a implementação do algoritmo classificador biométrico baseado no padrão acústico de locutores, o **modelo 4**, baseado no vetor de característica formado por 19 (dezenove) posições oriundas do critério ZCR, apresentou os melhores resultados no que se refere aos objetivos propostos pelo presente trabalho.

Tabela 1. Resultados obtidos pelo classificador implementado.

Critério/Tamanho do vetor de característica	Porcentagem de acertos (acurácia)
ZCR/19 posições	70,00%
ZCR/9 posições	63,33%
Energia e ZCR/28 posições (9E e 19ZCR)	56,67%
Energia e ZCR/38 posições (19E e 19ZCR)	55,00%
Energia e ZCR/18 posições (9E e 9ZCR)	55,00%
Energia e ZCR/28 posições (19E e 9ZCR)	50,00%
Energia/19 posições	43,33%
Energia/9 posições	41,67%

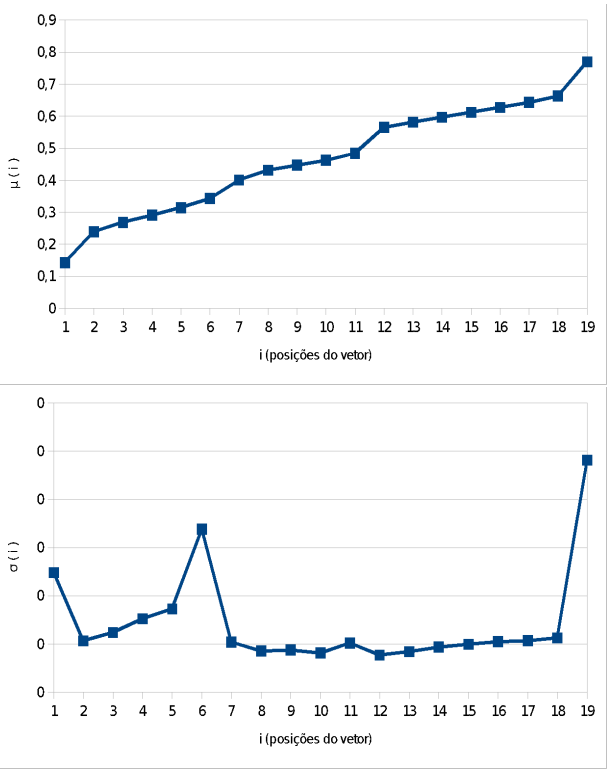

Figura 4. Gráficos dos vetores média (superior) e variância (inferior), ambos para o locutor 1.

Tal modelo apresentou uma margem de acerto de 70%, caracterizando-se como condizente, se considerarmos que a base de dados coletada para a execução do trabalho for considerada demasiadamente pequena. Para que a aplicação desenvolvida se torne comercial, além do desenvolvimento de uma interface gráfica para facilitar a interação do usuário, são necessários testes considerando bases de dados com milhares de locutores.

Logo, dentro de suas limitações, a abordagem utilizada no decorrer do projeto mostrou-se eficiente, no que se refere à identificação biométrica de indivíduos com base em seus padrões acústicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] H. Beigi. *Fundamentals of speaker recognition*. Yorktown: Springer (2011).

[2] D. A. Armiato. Reconhecimento de fala com vocabulário limitado baseado em descritores energético-entrópicos e densidade gaussiana. *Trabalho de Conclusão de Curso*, Departamento de Ciência de Computação e Estatística, Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" (2012).

[3] R. Trevizam. Um algoritmo para reconhecimento de locutores baseado na transformada discreta de Haar. *Trabalho de Conclusão de Curso*, Departamento de Ciência de Computação e Estatística, Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" (2015).

[4] C. H. Calazans; S. M. Calazans. Ciência forense: das origens à ciência forense computacional. *XV Seminário Regional de Informática*, Universidade Integrada, Santo Ângelo/RS (2005).

[5] J. A. Velho; G. C. Geiser; A. Espíndula. Ciências forenses: Uma introdução às principais áreas da criminalística moderna. Campinas: Millennium (2013).

[6] C. Lenke. Importância da ciência forense computacional. Artigo publicado no portal *under-linux.org* em 01/06/2013, disponível em https://under-linux.org/content.php?r=6665. Acessado em 12/01/2019.

[7] R. N. Almeida. Perícia forense computacional: Estudo das técnicas utilizadas para coleta e análise de vestígios digitais. *Trabalho de Conclusão de Curso*, FATEC/SP (2011).

[8] C. S. Yoshizaki. Análise de 15 STRS autossômicos na população de Araraquara (São Paulo, Brasil). *Trabalho de Conclusão de Curso*, Faculdade de Ciências Farmacêuticas/UNESP (2011).

[9] S. Haykin; B. Veen. Sinais e sistemas. Porto Alegre: Bookman (2002).

[10] K. W. Cattermole. *Principles of pulse code modulation*. American Elsevier Pub. Co (1989).

[11] M. Al-akaidi. *Fractal speech processing*. New York: Cambridge University Press (2004).

[12] R. C. Guido. *ZCR-aided Neurocomputing: a study with applications*. Knowledge-based Systems, v. 105, pp. 248 – 269 (2016).

APÊNDICE – CÓDIGOS FONTE

A seguir estão expostos, para fins de auxílio para o entendimento, os códigos fonte completos, de acordo com o **modelo 5**, dos algoritmos utilizados para:

(a) Extração de características;

```
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<string.h>
#include<iostream>
//-----------------------------------
int main(int i,char* n[])
{
void
analisa_dados_brutos(double*,int);
short converte2de8para1de16(unsigned
char, unsigned char);
FILE* fr;

if(((fr=fopen(n[1],"rb"))!=NULL))
        {
        struct
                {
                unsigned char riff[4];
                unsigned int len;
                } riff_header;

fread(&riff_header,sizeof(riff_header)
,1,fr);
        std::cout<<"\nArquivo do tipo:
"<<riff_header.riff[0]<<riff_header.ri
ff[1]<<riff_header.riff[2]<<riff_heade
r.riff[3];
        std::cout<<"\nTamanho
excluindo header: "<<riff_header.len;

//////////////////////////////////////

        unsigned char wave[4];

fread(&wave,sizeof(wave),1,fr);
        std::cout<<"\nSub-Tipo:
"<<wave[0]<<wave[1]<<wave[2]<<wave[3];

//////////////////////////////////////
        struct
                {
                unsigned char id[4];
                unsigned int len;
                } riff_chunk;

fread(&riff_chunk,sizeof(riff_chunk),1
,fr);
        std::cout<<"\nIdentificador:
"<<riff_chunk.id[0]<<riff_chunk.id[1]<
<riff_chunk.id[2]<<riff_chunk.id[3];
```

```
        std::cout<<"\nComprimento do
chunk apos header: "<<riff_chunk.len;



        struct
                {
                unsigned short
formattag;
                unsigned short
numberofchannels;
                unsigned int
samplingrate;
                unsigned int
avgbytespersecond;
                unsigned short
blockalign;
                }  wave_chunk;

fread(&wave_chunk,sizeof(wave_chunk),1
,fr);

//tratamento de uma excessao que
costuma aparecer em alguns arquivos
wav... O correto seriam 16 bytes, as
vezes aparecem 18 ou mais...
      if(riff_chunk.len>16)
                  {
                  unsigned char
excesso;
                for(int
i=0;i<riff_chunk.len-16;i++)

      fread(&excesso,sizeof(excesso),1,
fr);
                  }
      //fim do tratamento da excess?
        std::cout<<"\nCategoria do
formato: "<<wave_chunk.formattag;
        std::cout<<"\nNumero de
canais:
"<<wave_chunk.numberofchannels;
        std::cout<<"\nTaxa de
amostragem:
"<<wave_chunk.samplingrate;
        std::cout<<"\nMedia do num. de
bps: "<<wave_chunk.avgbytespersecond;
        std::cout<<"\nAlinhamento do
bloco em bytes:
"<<wave_chunk.blockalign;

////////////////////////////////////

        if(wave_chunk.formattag==1)
//PCM
                {
                int
resolucao=(wave_chunk.avgbytespersecon
d * 8)/(wave_chunk.numberofchannels *
wave_chunk.samplingrate);// pq nao
bitssample

std::cout<<"\nResolucao: "<<resolucao;
                struct
                        {
                        unsigned char
data[4];
                        unsigned int
chunk_size;
                        }
header_data_chunk;


fread(&header_data_chunk,sizeof(header
_data_chunk),1,fr);

std::cout<<"\nIdentificacao:
"<<header_data_chunk.data[0]<<header_d
ata_chunk.data[1]<<header_data_chunk.d
ata[2]<<header_data_chunk.data[3];
                std::cout<<"\nTamanho
do chunk de dados:
"<<header_data_chunk.chunk_size;
                std::cout<<"\nNumero
de frames para amostrar:
"<<header_data_chunk.chunk_size/wave_c
hunk.blockalign;

                int
tamanho_da_janela=header_data_chunk.ch
unk_size/wave_chunk.blockalign;

                std::cout<<"\nTamanho
da janela: "<<tamanho_da_janela;
                if((resolucao==8) &&
(wave_chunk.numberofchannels==1))
                        {
                         unsigned char
waveformdata;
                         double*
amostras_no_tempo = new
double[tamanho_da_janela];
                         for(int
i=0;i<tamanho_da_janela;i++)
                                 {

fread(&waveformdata,sizeof(waveformdat
a),1,fr);

amostras_no_tempo[i]=(double)waveformd
ata;
                                 }


      analisa_dados_brutos(&amostras_no
_tempo[0],tamanho_da_janela);
                        }
                else if((resolucao==8)
&& (wave_chunk.numberofchannels==2))
                        {
                         unsigned char
waveformdata_right;
                         unsigned char
waveformdata_left;
                         double*
amostras_no_tempo_left = new
double[tamanho_da_janela];
```

```
                        double*
amostras_no_tempo_right = new
double[tamanho_da_janela];
                        for(int
i=0;i<tamanho_da_janela;i++)
                                {

fread(&waveformdata_left,sizeof(wavefo
rmdata_left),1,fr);

fread(&waveformdata_right,sizeof(wavef
ormdata_right),1,fr);


amostras_no_tempo_right[i]=(double)wav
eformdata_right;

amostras_no_tempo_left[i]=(double)wave
formdata_left;
                                }


      analisa_dados_brutos(&amostras_no
_tempo_left[0],tamanho_da_janela);
                                //
      analisa_dados_brutos(&amostras_no
_tempo_right[0],tamanho_da_janela);
                        }
                else
if((resolucao==16) &&
(wave_chunk.numberofchannels==1))
                        {
                        unsigned char
waveformdata_lsb, waveformdata_msb;
                        double*
amostras_no_tempo = new
double[tamanho_da_janela];
                        for(int
i=0;i<tamanho_da_janela;i++)
                                {

fread(&waveformdata_lsb,sizeof(wavefor
mdata_lsb),1,fr);

fread(&waveformdata_msb,sizeof(wavefor
mdata_msb),1,fr);

amostras_no_tempo[i]=(double)converte2
de8para1de16(waveformdata_lsb,waveform
data_msb);
                                }


      analisa_dados_brutos(&amostras_no
_tempo[0],tamanho_da_janela);
                        }
                else if
((resolucao==16) &&
(wave_chunk.numberofchannels==2))
                        {
                        unsigned char
waveformdata_lsb_left,
waveformdata_lsb_right,
waveformdata_msb_left,
waveformdata_msb_right;
                                double*
amostras_no_tempo_left = new
double[tamanho_da_janela];
                                double*
amostras_no_tempo_right = new
double[tamanho_da_janela];
                                for(int
i=0;i<tamanho_da_janela;i++)
                                        {

fread(&waveformdata_lsb_left,sizeof(wa
veformdata_lsb_left),1,fr);

fread(&waveformdata_msb_left,sizeof(wa
veformdata_msb_left),1,fr);

fread(&waveformdata_lsb_right,sizeof(w
aveformdata_lsb_right),1,fr);

fread(&waveformdata_msb_right,sizeof(w
aveformdata_msb_right),1,fr);

amostras_no_tempo_left[i]=(double)conv
erte2de8para1de16(waveformdata_lsb_lef
t,waveformdata_msb_left);

amostras_no_tempo_right[i]=(double)con
verte2de8para1de16(waveformdata_lsb_ri
ght,waveformdata_msb_right);
                                }


      analisa_dados_brutos(&amostras_no
_tempo_left[0],tamanho_da_janela);
                                //
      analisa_dados_brutos(&amostras_no
_tempo_right[0],tamanho_da_janela);
                        }
                else

      std::cout<<"Resolucao ou nmero de
canais invalido(s)";

                }
        else
                std::cout<<"FORA DO
FORMATO PCM...";
        fclose(fr);
        }
else
        std::cout<<"Arquivo nao existe
ou nao pode ser aberto";
std::cout<<"\n\n\n";
}
//-------------------------------------
short converte2de8para1de16(unsigned
char lsb, unsigned char msb)
{
return(((msb&0x80)>>7)*(32768) +
       ((msb&0x40)>>6)*(16384) +
       ((msb&0x20)>>5)*(8192) +
       ((msb&0x10)>>4)*(4096) +
```

```
       ((msb&0x08)>>3)*(2048) +
       ((msb&0x04)>>2)*(1024) +
       ((msb&0x02)>>1)*(512) +
       ((msb&0x01))*(256) +
       ((lsb&0x80)>>7)*(128) +
       ((lsb&0x40)>>6)*(64) +
       ((lsb&0x20)>>5)*(32) +
       ((lsb&0x10)>>4)*(16) +
       ((lsb&0x08)>>3)*(8) +
       ((lsb&0x04)>>2)*(4) +
       ((lsb&0x02)>>1)*(2) +
       (lsb&0x01));
}
//-------------------------------------
void analisa_dados_brutos(double* s,
int N)
{
//Declaração das variáveis
double
en_total,vet_carac[18],en1,en2,zcr1,zc
r2,media;
int i,j,zcr;

//Obter a média dos valores do sinal
wav
media=0;
for(i=0;i<N;i++)
      media=media+s[i];

media=media/N;

//Translação do sinal wav
for(i=0;i<N;i++)
      s[i]=s[i]-media;

//Cálculo do ZCR, ou seja, quantidade
de cruzamentos por 0 ocorridos
zcr=0;
for(i=0;i<(N-1);i++)
      if(s[i]*s[i+1]<0)
            zcr++;

printf("\n ZCR = %i \n",zcr);

//Laço para calcular a energia total
do sinal wav
en_total=0;
for(i=0;i<N;i++)
      en_total=en_total+s[i]*s[i];

printf("\n Energia Total = %f
\n",en_total);

//Laço para zerar todas as posições do
vetor de características
for(i=0;i<18;i++)
      vet_carac[i]=0;

//Laço para calcular as posições
relativas a energia do vetor de
características
for(i=0;i<9;i++){
      en1=0;
      en2=(i+1)*(0.1)*en_total;
      j=0;
      while(en1 < en2){
                  en1=en1+s[j]*s[j];
                  j++;
               }

      vet_carac[i]=((double)(j))/((doub
le)(N));
}

//Laço para calcular as posições
relativas ao ZCR do vetor de
características
for(i=0;i<9;i++){
      zcr1=0;
      zcr2=(i+1)*(0.1)*zcr;
      j=0;
      while(zcr1 < zcr2){
            if(s[j]*s[j+1]<0)
                  zcr1++;

            j++;}

      vet_carac[i+9]=((double)(j))/((do
uble)(N));
}
//Impressão do vetor de
características
printf("\n Vetor de Caracteristicas
\n");
for(i=0;i<18;i++)
      printf("%f;",vet_carac[i]);
}
//-------------------------------------
```

(b) Classificação de locutores;

```
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<string.h>
#include<iostream>
//-------------------------------------
using namespace std;

double dist2(double s[],double
m[][18],int n){
//Declaração de variáveis
double valor=0;

int i;

for(i=0;i<18;i++)
      valor=valor+(s[i]-m[n][i])*(s[i]-
m[n][i]);

return valor;}

double modulo(double v[][18],int n){
//Declaração de variáveis
double valor=0;

int i;

for(i=0;i<18;i++)
```

```
      valor=valor+v[n][i]*v[n][i];

valor=sqrt(valor);

return valor;}

int main(void){
//Declaração das variáveis
double
med[12][18],var[12][18],sinal[18],mode
lo[12],conv;

int i,indice,j;

//Valores de média e variância
//Locutor1
med[0][0]=0.071947;
      var[0][0]=0.0002272483;
med[0][1]=0.117256;
      var[0][1]=0.0007878334;
med[0][2]=0.1855912;
      var[0][2]=0.0018819862;
med[0][3]=0.2764862;
      var[0][3]=0.000666779;
med[0][4]=0.340553;
      var[0][4]=0.0009399396;
med[0][5]=0.4440972;
      var[0][5]=0.0016825944;
med[0][6]=0.5391948;
      var[0][6]=0.0010246296;
med[0][7]=0.5997232;
      var[0][7]=0.0002498665;
med[0][8]=0.6721836;
      var[0][8]=0.0013696233;
med[0][9]=0.2390886;
      var[0][9]=0.0002126568;
med[0][10]=0.290815;
      var[0][10]=0.0003043483;
med[0][11]=0.3428504;
      var[0][11]=0.0006764106;
med[0][12]=0.4313066;
      var[0][12]=0.0001707283;
med[0][13]=0.4622416;
      var[0][13]=0.0001627222;
med[0][14]=0.564925;
      var[0][14]=0.0001534491;
med[0][15]=0.5967372;
      var[0][15]=0.0001871797;
med[0][16]=0.626733;
      var[0][16]=0.0002096173;
med[0][17]=0.662825;
      var[0][17]=0.0002248687;

//Locutor2
med[1][0]=0.0893492;
      var[1][0]=0.0005213028;
med[1][1]=0.1657362;
      var[1][1]=0.016117171;
med[1][2]=0.2727984;
      var[1][2]=0.0320167051;
med[1][3]=0.4092156;
      var[1][3]=0.0446592919;
med[1][4]=0.5467278;
      var[1][4]=0.0032209527;
med[1][5]=0.5993022;
      var[1][5]=0.0007261089;
med[1][6]=0.6476484;
      var[1][6]=0.0045222905;
med[1][7]=0.7444566;
      var[1][7]=0.0023673469;
med[1][8]=0.7974042;
      var[1][8]=0.0002089941;
med[1][9]=0.2080212;
      var[1][9]=0.0005676299;
med[1][10]=0.2906444;
      var[1][10]=0.000001532;
med[1][11]=0.355799;
      var[1][11]=0.0001069557;
med[1][12]=0.4249802;
      var[1][12]=0.0004193731;
med[1][13]=0.4948806;
      var[1][13]=0.0000412893088;
med[1][14]=0.5431196;
      var[1][14]=0.0003059832;
med[1][15]=0.648372;
      var[1][15]=0.0001137375;
med[1][16]=0.6879436;
      var[1][16]=0.000142845;
med[1][17]=0.7341898;
      var[1][17]=0.0005222968;

//Locutor3
med[2][0]=0.0644104;
      var[2][0]=0.0002533825;
med[2][1]=0.0921454;
      var[2][1]=0.0003421279;
med[2][2]=0.1607096;
      var[2][2]=0.0010361317;
med[2][3]=0.2297802;
      var[2][3]=0.0015341019;
med[2][4]=0.3325206;
      var[2][4]=0.005646615;
med[2][5]=0.4421986;
      var[2][5]=0.0032900986;
med[2][6]=0.5328294;
      var[2][6]=0.0003455516;
med[2][7]=0.6603518;
      var[2][7]=0.0045152211;
med[2][8]=0.7471812;
      var[2][8]=0.0006367461;
med[2][9]=0.2058688;
      var[2][9]=0.0015819441;
med[2][10]=0.2899026;
      var[2][10]=0.0001422195;
med[2][11]=0.3559676;
      var[2][11]=0.0003444151;
med[2][12]=0.4430992;
      var[2][12]=0.000170811;
med[2][13]=0.4771824;
      var[2][13]=0.0001797253;
med[2][14]=0.5841978;
      var[2][14]=0.0002177205;
med[2][15]=0.6207474;
      var[2][15]=0.000265167;
med[2][16]=0.6531502;
      var[2][16]=0.0003021235;
med[2][17]=0.7134054;
      var[2][17]=0.0004621227;
```

```
//Locutor4
med[3][0]=0.1091442;
      var[3][0]=0.0014051251;
med[3][1]=0.1784756;
      var[3][1]=0.0030649314;
med[3][2]=0.2549288;
      var[3][2]=0.005223712;
med[3][3]=0.3498934;
      var[3][3]=0.0057721124;
med[3][4]=0.451305;
      var[3][4]=0.0069325028;
med[3][5]=0.5352586;
      var[3][5]=0.0136791599;
med[3][6]=0.6470608;
      var[3][6]=0.0104448396;
med[3][7]=0.7528086;
      var[3][7]=0.0044125248;
med[3][8]=0.8202144;
      var[3][8]=0.0038102823;
med[3][9]=0.191536;
      var[3][9]=0.0001470968;
med[3][10]=0.2755964;
      var[3][10]=0.000763491;
med[3][11]=0.3408498;
      var[3][11]=0.0009881686;
med[3][12]=0.431528;
      var[3][12]=0.000399789;
med[3][13]=0.4812462;
      var[3][13]=0.0005620267;
med[3][14]=0.5773594;
      var[3][14]=0.0005891581;
med[3][15]=0.607698;
      var[3][15]=0.0005891878;
med[3][16]=0.6373956;
      var[3][16]=0.0005901877;
med[3][17]=0.711687;
      var[3][17]=0.0000178051464999999;

//Locutor5
med[4][0]=0.0709424;
      var[4][0]=0.0006147719;
med[4][1]=0.0901534;
      var[4][1]=0.0005842862;
med[4][2]=0.1138896;
      var[4][2]=0.0004649349;
med[4][3]=0.18554;
      var[4][3]=0.0041890916;
med[4][4]=0.3207764;
      var[4][4]=0.0130580579;
med[4][5]=0.5033006;
      var[4][5]=0.005459016;
med[4][6]=0.6105696;
      var[4][6]=0.0039829564;
med[4][7]=0.7079018;
      var[4][7]=0.0001798259;
med[4][8]=0.74024;
      var[4][8]=0.0003166876;
med[4][9]=0.1700504;
      var[4][9]=0.0003095356;
med[4][10]=0.2801416;
      var[4][10]=0.0008210037;
med[4][11]=0.3507022;
      var[4][11]=0.0009081113;
med[4][12]=0.4401968;
      var[4][12]=0.0007496002;
med[4][13]=0.4778376;
      var[4][13]=0.0006332014;
med[4][14]=0.5692946;
      var[4][14]=0.0009517865;
med[4][15]=0.622943;
      var[4][15]=0.0002265036;
med[4][16]=0.6555182;
      var[4][16]=0.0003522587;
med[4][17]=0.7968704;
      var[4][17]=0.0005423184;

//Locutor6
med[5][0]=0.085575;
      var[5][0]=0.0023860329;
med[5][1]=0.1277122;
      var[5][1]=0.0049362431;
med[5][2]=0.2121574;
      var[5][2]=0.0159215527;
med[5][3]=0.3142974;
      var[5][3]=0.0200474715;
med[5][4]=0.43366;
      var[5][4]=0.020253463;
med[5][5]=0.5468066;
      var[5][5]=0.0146179266;
med[5][6]=0.6541394;
      var[5][6]=0.0130454996;
med[5][7]=0.7385806;
      var[5][7]=0.0024557458;
med[5][8]=0.791603;
      var[5][8]=0.0012067111;
med[5][9]=0.1570814;
      var[5][9]=0.0001754376;
med[5][10]=0.260988;
      var[5][10]=0.0002269145;
med[5][11]=0.3272966;
      var[5][11]=0.0007566678;
med[5][12]=0.3946142;
      var[5][12]=0.0022255402;
med[5][13]=0.4636654;
      var[5][13]=0.0007111742;
med[5][14]=0.5549238;
      var[5][14]=0.0017391313;
med[5][15]=0.6261202;
      var[5][15]=0.0008521935;
med[5][16]=0.6735308;
      var[5][16]=0.0010767431;
med[5][17]=0.7871116;
      var[5][17]=0.0004233264;

//Locutor7
med[6][0]=0.0738736;
      var[6][0]=0.0001335649;
med[6][1]=0.1223812;
      var[6][1]=0.0020568394;
med[6][2]=0.1743744;
      var[6][2]=0.0064107065;
med[6][3]=0.27654;
      var[6][3]=0.0033580645;
med[6][4]=0.3688726;
      var[6][4]=0.0066818005;
```

```
med[6][5]=0.4916048;
      var[6][5]=0.0003065515;
med[6][6]=0.536343;
      var[6][6]=0.0006726202;
med[6][7]=0.6279906;
      var[6][7]=0.0043935806;
med[6][8]=0.7245644;
      var[6][8]=0.0004339719;
med[6][9]=0.1690742;
      var[6][9]=0.0001567448;
med[6][10]=0.2660666;
      var[6][10]=0.0000843135233;
med[6][11]=0.3151616;
      var[6][11]=0.0001116141;
med[6][12]=0.4019954;
      var[6][12]=0.0003645805;
med[6][13]=0.44395;
      var[6][13]=0.0001240078;
med[6][14]=0.5124272;
      var[6][14]=0.0014602048;
med[6][15]=0.582866;
      var[6][15]=0.0002006764;
med[6][16]=0.6121572;
      var[6][16]=0.0002384124;
med[6][17]=0.6554304;
      var[6][17]=0.0003281043;

//Locutor8
med[7][0]=0.0743818;
      var[7][0]=0.0000705664762;
med[7][1]=0.11815;
      var[7][1]=0.0014193698;
med[7][2]=0.1925714;
      var[7][2]=0.0027166004;
med[7][3]=0.2841576;
      var[7][3]=0.001528216;
med[7][4]=0.382108;
      var[7][4]=0.0029651002;
med[7][5]=0.4777084;
      var[7][5]=0.0084104315;
med[7][6]=0.578751;
      var[7][6]=0.0045497289;
med[7][7]=0.6767196;
      var[7][7]=0.0001837122;
med[7][8]=0.740431;
      var[7][8]=0.0002403254;
med[7][9]=0.1560502;
      var[7][9]=0.000262768;
med[7][10]=0.250813;
      var[7][10]=0.0002427824;
med[7][11]=0.2830892;
      var[7][11]=0.0001900234;
med[7][12]=0.3166392;
      var[7][12]=0.0001723706;
med[7][13]=0.4196226;
      var[7][13]=0.0002969761;
med[7][14]=0.5003594;
      var[7][14]=0.0019634732;
med[7][15]=0.5800978;
      var[7][15]=0.0006255534;
med[7][16]=0.6242396;
      var[7][16]=0.000557931;
med[7][17]=0.7711972;
      var[7][17]=0.0004691144;

//Locutor9
med[8][0]=0.0818424;
      var[8][0]=0.0001296008;
med[8][1]=0.1453716;
      var[8][1]=0.000593825;
med[8][2]=0.227797;
      var[8][2]=0.0006895809;
med[8][3]=0.3461694;
      var[8][3]=0.0007887066;
med[8][4]=0.4165546;
      var[8][4]=0.0014101945;
med[8][5]=0.5186454;
      var[8][5]=0.0007656814;
med[8][6]=0.6051666;
      var[8][6]=0.002360422;
med[8][7]=0.711241;
      var[8][7]=0.0008659038;
med[8][8]=0.8067414;
      var[8][8]=0.0012957813;
med[8][9]=0.1909596;
      var[8][9]=0.000512249;
med[8][10]=0.2536742;
      var[8][10]=0.0001678398;
med[8][11]=0.3186168;
      var[8][11]=0.0004605661;
med[8][12]=0.4265618;
      var[8][12]=0.0005456592;
med[8][13]=0.4605822;
      var[8][13]=0.0004697244;
med[8][14]=0.5317546;
      var[8][14]=0.0019377284;
med[8][15]=0.6051956;
      var[8][15]=0.0004986959;
med[8][16]=0.6421846;
      var[8][16]=0.0003934554;
med[8][17]=0.7753456;
      var[8][17]=0.0007381876;

//Locutor10
med[9][0]=0.0585858;
      var[9][0]=0.000101062;
med[9][1]=0.07073;
      var[9][1]=0.0001310422;
med[9][2]=0.085057;
      var[9][2]=0.0001245454;
med[9][3]=0.1143994;
      var[9][3]=0.000115927;
med[9][4]=0.2447346;
      var[9][4]=0.0025631442;
med[9][5]=0.3528542;
      var[9][5]=0.0040220887;
med[9][6]=0.4692018;
      var[9][6]=0.0033920877;
med[9][7]=0.6181008;
      var[9][7]=0.0037310891;
med[9][8]=0.6921752;
      var[9][8]=0.0001947875;
med[9][9]=0.1557972;
      var[9][9]=0.0001398264;
med[9][10]=0.2507398;
      var[9][10]=0.0002690751;
med[9][11]=0.3015448;
      var[9][11]=0.0003126359;
```

```
med[9][12]=0.387581;
      var[9][12]=0.0005839477;
med[9][13]=0.4310446;
      var[9][13]=0.0003214747;
med[9][14]=0.5233354;
      var[9][14]=0.0006501357;
med[9][15]=0.5649408;
      var[9][15]=0.0003390023;
med[9][16]=0.5982476;
      var[9][16]=0.0003558201;
med[9][17]=0.7178792;
      var[9][17]=0.0005703279;

//Locutor11
med[10][0]=0.0700614;
      var[10][0]=0.0000733797143;
med[10][1]=0.1014604;
      var[10][1]=0.0000310522273;
med[10][2]=0.1533486;
      var[10][2]=0.0016602049;
med[10][3]=0.2233822;
      var[10][3]=0.0017577359;
med[10][4]=0.3108018;
      var[10][4]=0.0041395563;
med[10][5]=0.389738;
      var[10][5]=0.0009143339;
med[10][6]=0.4652604;
      var[10][6]=0.0027378319;
med[10][7]=0.5964206;
      var[10][7]=0.0057661625;
med[10][8]=0.734967;
      var[10][8]=0.000403716;
med[10][9]=0.1964364;
      var[10][9]=0.0003967443;
med[10][10]=0.2708612;
      var[10][10]=0.0001570076;
med[10][11]=0.319194;
      var[10][11]=0.0002180351;
med[10][12]=0.3854022;
      var[10][12]=0.0010846449;
med[10][13]=0.4574316;
      var[10][13]=0.000887337;
med[10][14]=0.506861;
      var[10][14]=0.001713856;
med[10][15]=0.5967414;
      var[10][15]=0.0008182378;
med[10][16]=0.634973;
      var[10][16]=0.001014534;
med[10][17]=0.7125286;
      var[10][17]=0.0004665493;

//Locutor12
med[11][0]=0.1092718;
      var[11][0]=0.0044541463;
med[11][1]=0.1972286;
      var[11][1]=0.006350034;
med[11][2]=0.2595168;
      var[11][2]=0.0049370036;
med[11][3]=0.349759;
      var[11][3]=0.0056348257;
med[11][4]=0.3860972;
      var[11][4]=0.0038440031;
med[11][5]=0.4687198;
      var[11][5]=0.0028911516;
med[11][6]=0.5731024;
      var[11][6]=0.0041980086;
med[11][7]=0.6357846;
      var[11][7]=0.0006473051;
med[11][8]=0.6788844;
      var[11][8]=0.0008977024;
med[11][9]=0.1421684;
      var[11][9]=0.0006367437;
med[11][10]=0.2183596;
      var[11][10]=0.0002658034;
med[11][11]=0.2707632;
      var[11][11]=0.0003640667;
med[11][12]=0.3585938;
      var[11][12]=0.0011551662;
med[11][13]=0.403273;
      var[11][13]=0.0001442423;
med[11][14]=0.4865612;
      var[11][14]=0.0012657802;
med[11][15]=0.5304188;
      var[11][15]=0.000127073;
med[11][16]=0.5592556;
      var[11][16]=0.00013427;
med[11][17]=0.6367874;
      var[11][17]=0.0027355498;

do{
//Entrada do sinal a ser analisado
      for(i=0;i<18;i++){
            printf("Entre com a posicao
%i do vetor a ser analisado:",i+1);
            cin >> sinal[i];
      }

//Calculo dos modelos
      conv=0;
      indice=-1;
      for(i=0;i<12;i++){
            modelo[i]=exp(-
(dist2(sinal,med,i))/(2*modulo(var,i))
);
            if(modelo[i]>conv){
                  conv=modelo[i];
                  indice=i;
            }
      }

indice=indice+1;

//Apresentacao do resultado
      printf("Converge com o locutor
%i, com resultado de
%f!",indice,conv);

      printf("Para continuar digite um
inteiro diferente de zero");
      scanf("%i",&j);
}while(j);

return 0;
}
```

v. 8, n. 2, p. 51-57, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.366

PSA positivo, espermatozoides ausentes: vale a tentativa de obtenção de perfil genético masculino?

M. Toselli[a], A.C. Pacheco[b], C.R. Dias Filho[c]

[a] *Centro Universitário São Camilo, São Paulo (SP), Brasil*
**Endereço de e-mail para correspondência: milenatoselli@hotmail.com Tel.: +55-11-971642901.*
[b] *Instituto de Criminalística, Superintendência da Polícia Técnico-Científica, São Paulo (SP), Brasil*
**Endereço de e-mail para correspondência:ana.acp@policiacientifica.sp.gov.br Tel.: +55-11-3815-8200.*
[c] *Instituto de Criminalística, Superintendência da Polícia Técnico-Científica, São Paulo (SP), Brasil*
**Endereço de e-mail para correspondência: diascr@gmail.com*

Recebido em 04/03/2019; Revisado em 27/05/2019; Aceito em 14/08/2019

Resumo

A violência sexual é uma questão histórica e cultural que afeta crianças, adolescentes e adultos. A ausência de prova pericial e a falta de prestação de queixa da vítima dificulta a condenação do agressor. Porém, muitas vezes é possível a obtenção do perfil genético do agressor pela adequada coleta de vestígios no exame de corpo de delito da vítima e desta forma a vinculação de um suspeito ao crime. Em material relacionado à violência sexual, a perícia efetua exames preliminares para a constatação de material biológico, como a pesquisa de antígeno prostático específico (PSA) e a detecção da presença de espermatozoides através de microscopia de luz. É relativamente comum a abstenção dos procedimentos genéticos quando da ausência ou exiguidade de espermatozoides na amostra, sendo esses casos muitas vezes arquivados. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de se obter um perfil genético masculino isolado de peças que resultaram PSA positivo e a pesquisa de espermatozoide negativo ou raro. Foram analisados 61 casos durante o período de janeiro a dezembro de 2014, dos quais, 28 casos resultaram negativos na pesquisa de espermatozoides. Desses foi possível isolar o perfil masculino em 13 casos. Dos 33 casos com espermatozoides raros, 66,67% (22 casos) resultaram em sucesso na obtenção de perfil masculino isolado. Os resultados são indicativos de que esses casos não devem ser arquivados após a constatação de líquido seminal, sem que se faça uma tentativa para obtenção de um perfil genético masculino. Foi possível isolar o perfil genético masculino em 57,37% dos casos estudados através das células espermática e/ou epitelial do criminoso, sendo esses perfis masculinos importantes não apenas para o confronto com o perfil de suspeitos, mas também para a alimentação do banco nacional de dados para futura identificação do agressor.

Palavras-Chave: Azoospermia, Base de dados genéticos, Delitos sexuais, Perfilação da região polimórfica, PSA

Abstract

Sexual violence is a historical and cultural issue that affects children, adolescents and adults. The lack of expert evidence and the victim's underreport make it difficult to condemn the aggressor. However, it is often possible to obtain the genetic profile of the offender through proper evidence collection during the physical examination of the victim and thus assisting to connect the suspect to the crime. In sexual assault evidence, the police laboratory conducts preliminary examinations searching for biological material, such as prostate specific antigen (PSA) screening and the detection of spermatozoa through light microscopy. It is relatively common to abstain from genetic procedures when there is absence or rarity of spermatozoa in the sample and these cases are often dismissed. Thus, the present study aimed to verify the possibility of obtaining a male genetic profile isolated from objects that resulted positive for PSA screening and negative or rare for spermatozoa microscopy. 61 cases were analyzed from January to December 2014, of which 28 cases tested negative for sperm cells. From these it was possible to isolate the male profile in 13 cases. Among the 33 cases containing rare spermatozoa, 66.67% (22 cases) were successful in obtaining an isolated male profile. The results are indicative that these cases should not be filed right after the screening for seminal fluid, without attempting to obtain a male genetic profile. It was possible to isolate the male genetic profile in 57.37% of the cases studied through the sperm and / or epithelial cells of the criminal, and these male profiles are important not only for the confrontation with the profile of suspects, but also for feeding the national profile database for future identification of the offender.

Keywords: Azoospermia, Genetic Database, Sexual offenses, STR profiling, PSA.

1. INTRODUÇÃO

O abuso sexual consiste no prazer ou gratificação do abusador através de carícias, manipulação de mama, ânus ou genitálias de uma criança, adolescente ou adulto sem o seu consentimento, podendo chegar até ao ato sexual em si, com ou sem penetração através do uso ou não de violência física [1]. A violência sexual atinge tanto mulheres quanto homens, não importando, portanto, o sexo, a faixa etária, a etnia ou a classe social. Apesar disso, mulheres jovens e adolescentes apresentam um maior risco [2]. O problema é que, quando crianças e adolescentes, a maioria das vítimas de violência sexual deixam de buscar ajuda médica e policial e, o motivo mais frequente se relaciona ao fato de tais casos ocorrerem no ambiente intrafamiliar e em repetidas vezes, fazendo com que a vítima sinta medo e/ou vergonha [3].

Segundo o 9º Anuário Brasileiro de Segurança Pública, foram registrados 47.646 casos de estupro no Brasil no ano de 2014. No estado de São Paulo foram registrados 10.026, referente a 22,8% dos casos no Brasil. Tais dados estatísticos somente reforçam a realidade da violência contra a mulher, em sua maioria e que os crimes sexuais no Brasil são um grave problema de Segurança Pública [4].

Em São Paulo, existem delegacias destinadas às vítimas femininas de qualquer tipo de agressão sejam elas: física, psicológica ou até sexual. Elas são denominadas DDM ("Delegacia de Defesa da Mulher", apesar de o nome oficial ser "Delegacias de Polícia de Defesa da Mulher"), instituídas pela Lei Estadual no. 5.467 de 24 de dezembro de 1986. Nessas delegacias as vítimas são atendidas por policiais mulheres, em casos de qualquer abuso sexual. Após o registro da ocorrência, são submetidas a exames de corpo de delito, realizados no Instituto Médico Legal (IML), onde são coletados diversos tipos de materiais supostamente contendo traços deixados pelo agressor sexual, como *swabs* vaginais, anais e orais, junto com qualquer outro vestígio, como vestimentas e/ou objetos envolvidos ao ato sexual, como por exemplo, preservativos [5]. Os principais vestígios nesses casos envolvem a suposta presença de sêmen deixado no corpo da vítima e/ou nas vestimentas utilizada na ocasião do crime [6].

Tais vestígios, uma vez coletados, são encaminhados ao Instituto de Criminalística (IC), onde passam por exames periciais visando à constatação de material de origem seminal na amostra, seguindo, quando o caso, de perfilamento genético masculino. Um dos primeiros exames realizados envolve a verificação da presença de antígeno prostático específico (PSA). O PSA é uma glicoproteína que está presente em alta concentração no líquido seminal. Na área clínica, é utilizado como marcador na identificação de doenças relacionadas à próstata, mas no âmbito da perícia criminal é um marcador na determinação dos vestígios de esperma coletados das vítimas, preservativos e a partir de manchas obtidas em peças de vestuário [7].

De acordo com Bueno e Massuda [7], em 2014, resultados positivos, tanto para a presença de PSA como de espermatozoides, determinam uma alta chance da obtenção do perfil genético do agressor por meio da análise de DNA. Porém, em algumas situações, pode ocorrer resultados positivos na pesquisa de PSA e, na mesma amostra, resultados negativos na pesquisa de espermatozoides, por meio de microscopia de luz. Tal situação pode ocorrer por várias causas, como ausência de ejaculação propriamente dita ou em casos de agressor vasectomizado, azoospermico ou oligospermico. Entretanto, a ausência de espermatozoides não impossibilita a obtenção do perfil genético do agressor, já que o líquido seminal contém o PSA, e diferentes células epiteliais de descamação do trato geniturinário masculino [8]. Não é incomum a abstenção dos procedimentos genéticos quando da ausência ou exiguidade de espermatozoides na amostra, sendo muitas vezes arquivados. Tal situação é motivo de preocupação, considerando que há relatos de sucesso na obtenção do perfil genético masculino, ainda que o resultado da pesquisa por espermatozoides não seja promissor.

Os denominados "casos abertos", ainda com investigação em curso, podem se beneficiar da obtenção de perfil genético do estuprador, devido à possibilidade de tais perfis serem inseridos e pesquisados em bancos de dados criminais de DNA [9].

2. OBJETIVO

Este trabalho teve por objetivo verificar a possibilidade de se obter um perfil genético masculino isolado de amostras, com resultados preliminares positivos para o antígeno prostático específico na ausência ou exiguidade de espermatozoides, por microscopia ótica, coletadas de exames provenientes de crimes sexuais.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Obtenção das amostras

As amostras analisadas para a constatação de líquido seminal e presença de espermatozoides são referentes aos casos de crimes sexuais recebidos no Núcleo de Biologia e Bioquímica (NBB) do Instituto de Criminalística (IC) do Estado de São Paulo. As amostras analisadas são referentes ao período de janeiro a dezembro de 2014.

Quanto aos tipos de peças foram analisadas: 23 calcinhas, 11 preservativos, 9 cuecas, 9 fragmentos de tecidos, 4 calças, 2 blusas, 2 shorts e 1 absorvente.

Os peritos responsáveis por estas amostras constataram a presença do antígeno prostático específico, através de kit comercial (*PSA ONE STEP TEST* - INLAB cód. 9963) e a pesquisa dos espermatozoides através de coloração com eritrosina e microscopia de luz. Nos casos que resultaram PSA positivo e a presença de espermatozoides negativos ou raros, um fragmento das peças de exame foi armazenado e encaminhado ao Laboratório de DNA do NBB. Foram analisadas 61 amostras que possuíram resultado de PSA positivo dos quais foram separados pela pesquisa de espermatozoide em negativo ou raro. Essas amostras foram submetidas à extração, quantificação, amplificação e eletroforese de DNA para a obtenção dos perfis de microssatélites da amostra.

3.2. Extração do DNA

A extração do DNA obedeceu aos diversos protocolos previamente estabelecidos pelos fabricantes e de uso rotineiro no Laboratório de DNA do NBB. Essas amostras são submetidas a dois tipos de extrações: uma diferencial, que consiste na separação em fração espermatozoide (FE) e fração não espermatozoide (FNE) e outra direta. Após a separação das duas frações e também da parte direta, estas são submetidas à extração de DNA por resina magnética.

Para a realização das extrações de DNA por resina magnética, utilizou-se os kits comerciais: *DNA IQ System* ™ (*Promega Corporation* – Cat. # DC6700), *PrepFiler® Automated Forensic DNA Extration Kit* (*Applied Biosystems* – Part nº 4463353) e o *EZ1® DNA Investigator Kit* (Cat. no. 952034) para a realização manual ou automatizada com o uso de plataforma robótica *TECAN Freedom EVO 150*.

3.3. Quantificação do DNA

Após a extração de todas as amostras, foi realizada a quantificação do DNA por reação em cadeia polimerase (PCR, do inglês, *Polymerase Chain Reaction*) em tempo real, no equipamento *7500 Real Time PCR System* (*Applied Biosystems*), utilizando o kit comercial *Quantifiler® Trio DNA Quantification Kit* (Cat. no. 4482910). Este sistema possibilitou quantificar o DNA humano e masculino provenientes do processo de retirada do DNA, sendo capaz de estabelecer a relação entre a quantidade de DNA feminino e DNA masculino em casos de mistura.

3.4. Reação de Amplificação

De posse das concentrações de DNA humano e DNA masculino presentes em cada amostra, estas foram submetidas à amplificação, por PCR, de microssatélites autossômicos do tipo STR (*short tandem repeats)*, com o uso dos seguintes sistemas: *GlobalFilerTM PCR Amplification Kit da Applied Biosystems* (Part. No. 4476135), *PowerPlex® Fusion System da Promega Corporation* (Cat. No. DC2408) e o *PowerPlex® Fusion6C System da Promega Corporation* (Cat. No. DC2705).

Na sequência das amplificações as amostras foram submetidas à eletroforese capilar em equipamento *ABI 3500xL Genetic Analyzer* que detecta em tempo real a fluorescência emitida pelos fluoróforos utilizados para a marcação dos *primers*. Através do *software Genemapper ID-X* os dados são analisados e comparados com escadas alélicas resultando num perfil alélico na forma de um eletroferograma.

4. RESULTADOS

4.1 Resultados Gerais

Durante o período estudado com esses resultados preliminares, dos 61 casos analisados (tab. 1), 28 (45,9%) apresentaram ausência de espermatozoides e em 33 casos (54,1%) foram constatados raros espermatozoides (menos do que 10 células espermatozoides na lâmina de microscopia).

4.2. Resultados dos casos com espermatozoides negativos

Ao analisar os 28 casos nos quais os resultados preliminares para a pesquisa de espermatozoides foram ausentes (tab. 2), pode-se verificar que em 13 casos (46,4%) foram obtidos perfis alélicos masculinos isolados. Em 4 casos (14,3%) o perfil alélico obtido foi na forma de uma mistura de DNA da vítima com o DNA do agressor, mesmo após algumas repetições na tentativa de se isolar o perfil alélico masculino.

Em 10 casos (37,5%) dos 28 analisados não foi possível obtenção de perfil ou o mesmo apresentava mistura, ou o único perfil alélico obtido foi apenas o feminino. E em um caso (3,6%) não foi obtido nenhum perfil alélico.

Em relação aos perfis alélicos masculino isolados, 9 destes foram inseridos no CODIS *(Combined DNA Index System).*

Tabela 1- Tabela geral com os 61 casos analisados de janeiro a dezembro de 2014.

Nº	OBJETO/PEÇA	PSA	PESQUISA DE ESPERMATOZÓIDE	[DNA HUMANO] (ng/µL)	[DNA MASCULINO] (ng/µL)	PERFIL MASCULINO ISOLADO	PERFIL MISTURA	INSERIDO NO CODIS
1	CALCINHA	+	NEGATIVO	1,3936	0,9432	SIM	NÃO	SIM
2	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,0019	0,0017	NÃO	SIM	NÃO
3	RETALHO DE BANCO	+	RAROS	0,1787	0,2399	SIM	NÃO	SIM
4	BLUSA	+	RAROS	0,0181	0,0095	NÃO	SIM	NÃO
5	CALCINHA	+	RAROS	0,0342	0,0184	SIM	NÃO	SIM
6	LENÇOL	+	NEGATIVO	0,0080	0,0077	NÃO	SIM	NÃO
7	EDREDON	+	NEGATIVO	1,5003	1,6251	SIM	NÃO	SIM
8	PRESERVATIVO	+	NEGATIVO	0,0331	0,0235	NÃO	SIM	NÃO
9	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,1320	0,1196	SIM	NÃO	SIM
10	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,0369	0,0489	SIM	NÃO	SIM
11	CALCINHA	+	RAROS	4,4340	0,0060	NÃO	NÃO	NÃO
12	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,0043	0,0044	NÃO	NÃO	NÃO
13	PRESERVATIVO	+	NEGATIVO	0,4238	0,0028	NÃO	NÃO	NÃO
14	PRESERVATIVO	+	NEGATIVO	0,7075	0,0110	NÃO	NÃO	NÃO
15	CUECA	+	NEGATIVO	19,9711	20,4522	SIM	NÃO	NÃO
16	CUECA	+	RAROS	0,8740	0,3413	NÃO	SIM	NÃO
17	CALÇA	+	NEGATIVO	0,0003	0,0004	SEM PERFIL	SEM PERFIL	NÃO
18	CALCINHA	+	RAROS	0,0010	0,0016	SIM	NÃO	SIM
19	CALCINHA	+	RAROS	0,7039	0,0203	NÃO	SIM	NÃO
20	BLUSA	+	RAROS	0,1444	0,1218	SIM	NÃO	SIM
21	ABSORVENTE	+	RAROS	0,0277	0,0319	SIM	NÃO	SIM
22	CALÇA	+	RAROS	2,3710	2,1515	SIM	NÃO	SIM
23	CALCINHA	+	RAROS	0,0220	0,0158	SIM	NÃO	SIM
24	CUECA	+	NEGATIVO	0,0043	0,0060	SIM	NÃO	NÃO
25	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,0577	Ø	NÃO	NÃO	NÃO
26	CALCINHA	+	RAROS	0,0062	0,0035	NÃO	SIM	NÃO
27	SHORT	+	RAROS	11,2203	12,4722	SIM	NÃO	SIM
28	FRAG BANCO VEICULAR	+	NEGATIVO	0,0863	0,1119	SIM	NÃO	NÃO
29	CUECA	+	NEGATIVO	0,1489	0,1175	SIM	NÃO	SIM
30	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,0115	0,0088	SIM	NÃO	SIM
31	PRESERVATIVO	+	NEGATIVO	0,0237	0,0259	SIM	NÃO	SIM
32	CUECA	+	NEGATIVO	0,0980	0,0670	NÃO	SIM	NÃO
33	CALCINHA	+	RAROS	0,0017	0,0029	NÃO	SIM	NÃO
34	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,3011	0,1540	SIM	NÃO	SIM
35	TOALHA	+	NEGATIVO	0,0045	0,0034	SIM	NÃO	SIM
36	CALCINHA	+	NEGATIVO	13,7865	0,1976	NÃO	NÃO	NÃO
37	CALCINHA	+	RAROS	0,0137	0,0141	SIM	NÃO	SIM
38	SHORT	+	RAROS	2,6952	2,8963	SIM	NÃO	SIM
39	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,0700	0,0800	SIM	NÃO	SIM
40	CALCINHA	+	RAROS	0,1660	0,1640	SIM	NÃO	SIM
41	CALÇA	+	NEGATIVO	0,0088	0,0058	SIM	NÃO	SIM
42	TECIDO	+	RAROS	0,0078	0,0054	NÃO	SIM	NÃO
43	TECIDO	+	RAROS	0,3237	0,4302	SIM	NÃO	SIM
44	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,0468	0,0079	SIM	NÃO	SIM
45	CUECA	+	RAROS	0,7819	0,7237	SIM	NÃO	SIM
46	CUECA	+	NEGATIVO	0,6892	0,6348	SIM	NÃO	NÃO
47	FRONHA	+	NEGATIVO	0,0064	0,0061	NÃO	NÃO	NÃO
48	LENÇOL	+	NEGATIVO	0,2777	0,0083	NÃO	NÃO	NÃO
49	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,6673	0,0882	SIM	NÃO	SIM
50	CUECA	+	RAROS	0,0024	0,0032	NÃO	SIM	NÃO
51	CALCINHA	+	RAROS	16,0954	0,1300	NÃO	SIM	NÃO
52	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,1113	0,0769	SIM	NÃO	SIM
53	PRESERVATIVO	+	RAROS	0,0085	0,0053	SIM	NÃO	SIM
54	CALCINHA	+	NEGATIVO	15,6071	0,2525	NÃO	NÃO	NÃO
55	CALÇA	+	RAROS	5,6234	7,2984	SIM	NÃO	SIM
56	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,0057	0,0049	NÃO	SIM	NÃO
57	CUECA	+	RAROS	0,0192	0,0157	SIM	NÃO	SIM
58	CALCINHA	+	RAROS	1,5685	1,3683	SIM	NÃO	SIM
59	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,1971	0,0004	NÃO	NÃO	NÃO
60	CALCINHA	+	RAROS	0,1024	0,0506	NÃO	SIM	NÃO
61	CALCINHA	+	NEGATIVO	0,0007	0,0012	NÃO	NÃO	NÃO

Legenda: PSA Antígeno prostático específico; CODIS *Combined DNA Index System*, *software* utilizado pelo banco de dados.

Tabela 2- Casos que resultaram PSA positivo e espermatozoides negativos.

NÚMERO	OBJETO/PEÇA	CONCENTRAÇÃO DE DNA HUMANO (ng/µL)	CONCENTRAÇÃO DE DNA MASCULINO (ng/µL)	PERFIL MASCULINO ISOLADO	PERFIL MASCULINO EM MISTURA	PERFIL INSERIDO NO CODIS
1	CALCINHA	1,3936	0,9432	SIM	NÃO	SIM
6	LENÇOL	0,0080	0,0077	NÃO	SIM	NÃO
7	EDREDON	1,5003	1,6251	SIM	NÃO	SIM
8	PRESERVATIVO	0,0331	0,0235	NÃO	SIM	NÃO
12	CALCINHA	0,0043	0,0044	NÃO	NÃO	NÃO
13	PRESERVATIVO	0,4238	0,0028	NÃO	NÃO	NÃO
14	PRESERVATIVO	0,7075	0,0110	NÃO	NÃO	NÃO
15	CUECA	19,9711	20,4522	SIM	NÃO	NÃO
17	CALÇA	0,0003	0,0004	NÃO FOI OBTIDO PERFIL	NÃO FOI OBTIDO PERFIL	NÃO
24	CUECA	0,0043	0,0060	SIM	NÃO	NÃO
25	CALCINHA	0,0577	Ø	NÃO	NÃO	NÃO
28	FRAG BANCO VEICULAR	0,0863	0,1119	SIM	NÃO	NÃO
29	CUECA	0,1489	0,1175	SIM	NÃO	SIM
30	CALCINHA	0,0115	0,0088	SIM	NÃO	SIM
31	PRESERVATIVO	0,0237	0,0259	SIM	NÃO	SIM
32	CUECA	0,0980	0,0670	NÃO	SIM	NÃO
34	CALCINHA	0,3011	0,1540	SIM	NÃO	SIM
35	TOALHA	0,0045	0,0034	SIM	NÃO	SIM
36	CALCINHA	13,7865	0,1976	NÃO	NÃO	NÃO
41	CALÇA	0,0088	0,0058	SIM	NÃO	SIM
46	CUECA	0,6892	0,6348	SIM	NÃO	NÃO
47	FRONHA	0,0064	0,0061	NÃO	NÃO	NÃO
48	LENÇOL	0,2777	0,0083	NÃO	NÃO	NÃO
49	CALCINHA	0,6673	0,0882	SIM	NÃO	SIM
54	CALCINHA	15,6071	0,2525	NÃO	NÃO	NÃO
56	CALCINHA	0,0057	0,0049	NÃO	SIM	NÃO
59	CALCINHA	0,1971	0,0004	NÃO	NÃO	NÃO
61	CALCINHA	0,0007	0,0012	NÃO	NÃO	NÃO

Legenda: **CODIS** *Combined DNA Index System*.

4.3. Resultados dos casos com espermatozoides raros

Nos 33 casos que continham raros espermatozoides (tabela 3) foram obtidos um perfil alélico masculino isolado em 22 casos (66,7%). Em 10 casos (30,3%) o perfil alélico obtido foi em forma de mistura do DNA da vítima com o DNA do agressor. E em apenas um caso (3,0%), o caso 11, o perfil alélico obtido foi feminino. Os 22 casos que obtiveram perfil masculino isolado foram inseridos no CODIS.

Tabela 3- Casos que resultaram PSA positivo e espermatozoides raros

NÚMERO	OBJETO/PEÇA	CONCENTRAÇÃO DE DNA HUMANO (ng/µL)	CONCENTRAÇÃO DE DNA MASCULINO (ng/µL)	PERFIL MASCULINO ISOLADO	PERFIL MASCULINO EM MISTURA	PERFIL INSERIDO NO CODIS
2	PRESERVATIVO	0,0019	0,0017	NÃO	SIM	NÃO
3	RETALHO DE BANCO	0,1787	0,2399	SIM	NÃO	SIM
4	BLUSA	0,0181	0,0095	NÃO	SIM	NÃO
5	CALCINHA	0,0342	0,0184	SIM	NÃO	SIM
9	PRESERVATIVO	0,1320	0,1196	SIM	NÃO	SIM
10	PRESERVATIVO	0,0369	0,0489	SIM	NÃO	SIM
11	CALCINHA	4,4340	0,0060	NÃO	NÃO	NÃO
16	CUECA	0,8740	0,3413	NÃO	SIM	NÃO
18	CALCINHA	0,0010	0,0016	SIM	NÃO	SIM
19	CALCINHA	0,7039	0,0203	NÃO	SIM	NÃO
20	BLUSA	0,1444	0,1218	SIM	NÃO	SIM
21	ABSORVENTE	0,0277	0,0319	SIM	NÃO	SIM
22	CALÇA	2,3710	2,1515	SIM	NÃO	SIM
23	CALCINHA	0,0220	0,0158	SIM	NÃO	SIM
26	CALCINHA	0,0062	0,0035	NÃO	SIM	NÃO
27	SHORT	11,2203	12,4722	SIM	NÃO	SIM
33	CALCINHA	0,0017	0,0029	NÃO	SIM	NÃO
37	CALCINHA	0,0137	0,0141	SIM	NÃO	SIM
38	SHORT	2,6952	2,8963	SIM	NÃO	SIM
39	PRESERVATIVO	0,0700	0,0800	SIM	NÃO	SIM
40	CALCINHA	0,1660	0,1640	SIM	NÃO	SIM
42	TECIDO	0,0078	0,0054	NÃO	SIM	NÃO
43	TECIDO	0,3237	0,4302	SIM	NÃO	SIM
44	PRESERVATIVO	0,0468	0,0079	SIM	NÃO	SIM
45	CUECA	0,7819	0,7237	SIM	NÃO	SIM
50	CUECA	0,0024	0,0032	NÃO	SIM	NÃO
51	CALCINHA	16,0954	0,1300	NÃO	SIM	NÃO
52	PRESERVATIVO	0,1113	0,0769	SIM	NÃO	SIM
53	PRESERVATIVO	0,0085	0,0053	SIM	NÃO	SIM
55	CALÇA	5,6234	7,2984	SIM	NÃO	SIM
57	CUECA	0,0192	0,0157	SIM	NÃO	SIM
58	CALCINHA	1,5685	1,3683	SIM	NÃO	SIM
60	CALCINHA	0,1024	0,0506	NÃO	SIM	NÃO

Legenda: **CODIS** *Combined DNA Index System*.

5. DISCUSSÃO

O sucesso de um exame pericial laboratorial é determinado não apenas pela qualidade da amostra analisada, mas também dos procedimentos laboratoriais empregados. As decisões administrativas em dar prosseguimento ou não na cadeia de procedimentos costuma ser pautada na probabilidade de sucesso, de forma que resultados preliminares promissores ensejam o prosseguimento, e resultados pouco promissores motivam a interrupção. Resultados negativos em procedimentos de busca por espermatozoides podem ensejar a taxação da amostra como "pouco promissora" pela administração de laboratórios forenses. Porém, o fato da pesquisa de espermatozoide resultar negativo ou raro não significa que não há material genético masculino, pois, outros tipos de células podem ser utilizadas para a obtenção de um perfil alélico masculino, por exemplo, leucócitos e células epiteliais provenientes do ducto ejaculatório. Tais circunstâncias também são comuns quando o agressor é vasectomizado, oligospermico ou azoospermico, e neste cenário seu perfil genético ainda pode ser obtido [10]. Neste estudo, 28 dos 61 casos analisados resultaram espermatozoides negativos e destas 13 amostras se mostraram viáveis para o perfilamento masculino.

Nos 14 casos em que o perfil alélico obtido foi em forma de mistura de DNA masculino com DNA feminino, é provável que a mistura na fração espermatozoide tenha ocorrido em razão do carreamento de DNA lisado na etapa inicial da extração diferencial [11].

Os fragmentos dos materiais utilizados nos exames preliminares (presença de PSA e pesquisa de espermatozoide) não foram os mesmos fragmentos utilizados para a obtenção do perfil genético, pois a análise foi realizada por responsáveis/peritos diferentes, desta forma o fragmento utilizado para obtenção do DNA podia conter outros tipos de células.

Quando se tem, após uma quantificação de DNA, um valor muito discrepante entre o DNA humano e o DNA masculino o que se espera é apenas um perfil de DNA feminino. Nos casos nºs 13, 14, 36, 48, 54 e 59 as concentrações de DNA humano são muito maiores que as concentrações de DNA masculino, sendo assim na amplificação o DNA em maior quantidade é favorecido, e o DNA masculino presente é amplificado na mesma proporção do DNA feminino, por competição durante a reação de PCR. No caso nº 12 a concentração de DNA humano e DNA masculino mesmo sendo semelhantes, o perfil genético obtido foi apenas feminino, já que o material de origem era a calcinha da vítima, predominando o DNA dela. No caso nº 25 o perfil genético apenas feminino obtido corrobora os resultados da quantificação indeterminada para o DNA masculino.

No caso nº 17 o perfil genético não foi obtido por estar em baixa quantidade de DNA tanto humano quanto DNA masculino [11][12].

Quando o objeto analisado é um preservativo a probabilidade de sucesso em isolar o perfil genético do

agressor é muito maior quando comparado a um objeto proveniente da vítima, como uma calcinha, por exemplo. Pois no próprio material analisado já é possível fazer a separação do material do agressor e da vítima, fazendo uma coleta com *swabs* da parte interna do preservativo (face com material do agressor) e outro *swabs* na parte externa do preservativo (face com material da vítima) [11].

Estudos de validação realizados no Laboratório de DNA do NBB, de acordo com os reagentes e a sensibilidade dos equipamentos existentes no laboratório, determinaram a necessidade de um mínimo de 0,0033ng/μL no resultado de quantificação (o que fornece uma massa aproximada de 50pg de DNA na reação de PCR), para a obtenção de perfil alélico, ainda que parcial.

Quando se trata do CODIS, dos 35 casos em que foi possível isolar o perfil alélico masculino, 31 destes casos (57%) foram inseridos no banco nacional de dados (tab. 1), pois atendiam os critérios estabelecidos para esse fim (se tratava de um perfil alélico masculino isolado). Nestes, havia fortes indicativos de que o perfil era do agressor sexual. Noutros casos, mesmo se obtendo o perfil alélico masculino isolado, não se teve acesso ao boletim de ocorrência com o histórico do caso em questão, logo não havia certeza de que o perfil obtido era do agressor ou de alguém com quem a vítima tenha tido uma relação sexual consentida próximo à data do crime.

Os perfis alélicos obtidos através de peças como cuecas, geralmente não podem ser inseridos no banco de dados, pois não se tem a certeza de que o perfil obtido seja do agressor e não da vítima, quando se trata de vítima do sexo masculino, já que esses casos não apresentavam material referência da vítima para a comparação. Há exceções quando a cueca examinada foi deixada pelo criminoso no local do crime.

A determinação de um perfil genético masculino e a consequente possível indicação da autoria do crime após análise de amostras com espermatozoides ausentes torna necessária a discussão de novas técnicas para tal obtenção, uma vez que os resultados positivos/promissores no presente trabalho indicam que a presença dos espermatozoides não é o único parâmetro a se considerar para a aquisição do perfil genético do infrator. E com novas técnicas o sucesso de isolar apenas o perfil masculino pode ser maior e, assim, mais casos podem ser solucionados.

É sabido que amostras forenses são, em regra, degradadas e exíguas [20]. Evidentemente, as condições da amostra biológica afetarão na quantidade e na qualidade do DNA. Até o momento da pesquisa poucos trabalhos foram feitos sobre a otimização de condições de armazenamento para amostras de agressão sexual [13], o que denota espaço para futuros trabalhos envolvendo amostras críticas.

6. CONCLUSÃO

Verificou-se ser possível a obtenção de um perfil genético masculino em peças provenientes de crimes sexuais sem a presença de espermatozoides ou mesmo com raros espermatozoides. As concentrações de DNA tanto masculino quanto feminino influenciam na obtenção deste perfil masculino, porém não é uma regra. Quanto às peças analisadas, pode-se concluir que não foi constatada nenhuma interferência quanto ao tipo de peça para uma possível analise e obtenção do perfil genético masculino.

Considerando que as amostras coletadas de vítimas de estupro cuja presença de espermatozoide apresentavam resultados negativos não seriam submetidos a análise de acordo com o procedimento de rotina do laboratório, e o fato de ser detectada a presença de DNA de origem masculina nas amostras, torna-se considerável que estes casos ao invés de serem arquivados após a constatação sejam submetidos a todo processo para a obtenção de um perfil genético masculino.

Como existem homens oligospermos, azoospermos ou mesmo vasectomizados, indicativo na pesquisa de espermatozoides que resultarem negativo, não se deve, portanto, encerrar o caso, já que através desse estudo foi possível a obtenção de perfil genético masculino de uma fração significativa dos casos, oriundo de células epiteliais masculinas presentes nos materiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os peritos criminais do Núcleo de Biologia e Bioquímica do Instituto de Criminalística de São Paulo, bem como o auxílio da técnica de laboratório Julianna Kesselring Romero.

REFERÊNCIAS

[1] ABRAPIA. Abuso Sexual: mitos e realidades. *Autores e Agentes e Associados* **3:** (2002).

[2] C.O. Facuri *et. al.* Violência sexual: estudo descritivo sobre as vítimas e o atendimento em um serviço universitário de referência no Estado de São Paulo, Brasil. *Cad. de Saúde Púb. Esc. Nac. de Saúde Púb. Sergio Arouca, Fund. Oswaldo Cruz* **29:** 889-898 (2013).

[3] L.C.L. Justino *et. al.* Violência sexual contra adolescentes: notificações nos Conselhos Tutelares. *Rev Gaúcha Enferm* **32:** 781-787 (2011).

[4] Fórum Brasileiro de Segurança Pública. *9º Anuário Brasileiro de Segurança Pública* **9: 156** (2015).

[5] W.R.G. Teixeira. A Importância do *Swab* na Perícia de Estupro. *Rev. IMESC*. **1:** (1998).

[6] P.J. Abrahão. A perícia do esperma no crime de estupro. *Conteúdo Jurídico* (2014). Retirado em 20/04/2015, de http://www.conteudojuridico.com.br/?artigos&ver=2.51123&seo=1.

[7] M.P. Bueno; T.Y.C. Massuda. Análise de Interferentes na detecção de PSA para Aplicação Forense. *Cad. da Esc. de Saúde* **2:** 66-73 (2014).

[8] M. Noureddine. Forensic Tests for Semen: What you should know. *Forensic Science* (2011) Retirado em 20/04/2015, de https://ncforensics.wordpress.com/2011/10/19/forensic-tests-for-semen-what-you-should-know/.

[9] G.S. Jacques; A.C. Minervino. Aspectos Éticos e Legais do Banco de Dados de Perfis Genéticos. *Perícia Federal* **4:** 17-20 (2008).

[10] L. Gusmão. *et. al.* DNA commission of the international society of forensic genetics (ISGF): An update of the recommendations on the use of Y-STRs in forensic analysis. *FSI* **157:** 187-197 (2006).

[11] K.A. De Paula. Análise Molecular Com Y-Strs Em Amostras Biológicas Sem Espermatozoides Coletadas de Vítimas de Estupro. 2011. 79f. *Dissertação (Stricto Sensu em Ciências Genômicas e Biotecnologia)* Universidade Católica de Brasília (2012).

[12] S. Lapeña; A. Gaztambide; I. Huarte. Agresión sexual. *Anales Sis San Navarra* **32:** 59-63 (2009).

[13] R.W. Cotton: M.B. Fisher. Review: Properties of sperm and seminal fluid, informed by research on reproduction and contraception. *FSI Genetics* **8:** 66-77 (2015).

[14] DNA IQ. DNA IQ System Database Protocol. Promega Corporation. Retirado em 11/04/2017, de https://www.promega.com/-/media/files/resources/protocols/technical-bulletins/101/dna-iq-system-database-protocol.pdf.

[15] EZ1. EZ1 DNA Investigator Kit. Qiagen. Retirado em 11/04/2017, de https://www.qiagen.com/us/shop/automated-solutions/sample-preparation/ez1-dna-investigator-kit/#productdetails.

[16] POWERPLEX FUSION. PowerPlex Fusion System Technical Manual. Promega Corporation. Retirado em 11/04/2017, de https://www.promega.com.br/-/media/files/resources/protocols/technical-manuals/101/powerplex-fusion-system-protocol.pdf.

[17] POWERPLEX FUSION6C. PowerPlex Fusion6C System Technical Manual. Promega Corporation. Retirado em 11/04/2017, de https://www.promega.com/-/media/files/resources/protocols/technical-manuals/101/powerplex-fusion-6c-system-protocol.pdf.

[18] PREPFILER. Prepfiler Forensic DNA Extraction Kits. Applied Biosystems. Retirado em 11/04/2017, de http://www3.appliedbiosystems.com/cms/groups/applied_markets_support/documents/generaldocuments/cms_096102.pdf.

[19] QUANTIFILER TRIO. Quantifiler TRIO DNA Quantification Kit User´s Manual. Applied Biosystems. Retirado em 11/04/2017, de http://www3.appliedbiosystems.com/cms/groups/applied_markets_support/documents/generaldocuments/cms_041395.pdf.

[20] I.M. Cândido & C.R. Dias Filho. Coleta e preservação dos vestígios biológicos *in* C.R. Dias Filho & P.A.C Francez. *Introdução à Biologia Forense*. 2018. 2ª edição, Millennium Editora, Campinas/SP

v. 8, n. 2, p. 58-62, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.373

Drogas de abuso: série histórica de 2008 a 2018 das principais drogas analisadas na perícia de Roraima

A.C. Sousa[a], S.R. Jati[b,*]

[a] Laboratório de Biologia e Química Forense, Instituto de Criminalística, Polícia Civil, Boa Vista (RR), Brasil
[b] Instituto Nacional de Perícias e Ciências Forenses, Boa Vista (RR), Brasil
*Endereço de e-mail para correspondência: sewbert@gmail.com

Recebido em 18/03/2019; Revisado em 16/04/2019; Aceito em 10/09/2019

Resumo

Drogas são substâncias químicas naturais ou sintéticas capazes de alterar o funcionamento dos organismos vivos, agindo em um órgão específico ou no indivíduo. Chamadas de drogas de abuso quando causam efeito psicoativo recreativo levando a dependência física ou psicológica. O objetivo desse trabalho foi de analisar o quantitativo de Exames Químicos de Identificação de Drogas de Abuso (2008 a 2018) realizados no Laboratório de Biologia e Química Forense do Instituto de Criminalística de Roraima. Os exames de 2008 a 2018, para cocaína e maconha foram: cocaína 4.877 (x = 443,36 ± 180,69), maconha 4.572 (x = 415,64 ± 225,80) com p = 0,7518. Para cocaína verificou-se diferença entre os anos (p < 0,001) com a formação de 3 grupos (i) 2008 e 20011, (ii) 2009, 2010, 2012 e 2013 e (iii) 2014 a 2018, demonstrando aumento progressivo nos 3 grupos, seguindo a tendência mundial. Já para maconha também houve diferença (p < 0,001) e a formação de 3 grupos: (i) 2008 e 2019, (ii) 2010 a 2013 e (iii) 2014 a 2018, com aumento progressivo em cada um desses grupos; observamos ainda que ano a ano a demanda foi aumentando, em média, ratificando a tendência mundial, sendo que sua produção está muito difundida, principalmente na América e na África. Evidenciamos assim o crescimento do consumo de cocaína e maconha no Estado de Roraima, bem como um maior consumo de cocaína em relação à maconha, apesar de discreto, indo na contramão da tendência mundial de a maconha ser a substância ilícita mais consumida.

Palavras-Chave: Drogas; abuso; Maconha; Cocaína; Roraima.

Abstract

Drugs are natural or synthetic chemicals capable of altering the functioning of living organisms, acting on a specific organ or in the individual. Calls for drugs of abuse when they cause recreational psychoactive effect leading to physical or psychological dependence. The objective of this work was to analyze the quantitative of Chemical Absorption Drug Abstracts (2008 to 2018) carried out at the Laboratory of Biology and Forensic Chemistry of the Forensic Criminology Institute of Roraima. The exams from 2008 to 2018 for cocaine and marijuana were: cocaine 4,877 (x = 443.36 ± 180.69), marijuana 4,572 (x = 415.64 ± 225.80) with p = 0.7518. For cocaine, there was a difference between the years (p <0.001) with the formation of 3 groups (i) 2008 and 20011, (ii) 2009, 2010, 2012 and 2013 and (iii) 2014 to 2018, showing a progressive increase in the 3 groups, following the world trend. For marijuana, there was also a difference (p < 0.001) and the formation of 3 groups: (i) 2008 and 2019, (ii) 2010 to 2013 and (iii) 2014 to 2018, with progressive increase in each of these groups; we also observed that, on a year-to-year basis, demand only increased, on average, by ratifying the world trend, and its production is very widespread, especially in America and Africa. Thus, the growth of cocaine and marijuana consumption in the State of Roraima, as well as a higher consumption of cocaine in relation to marijuana, although discreet, went against the world trend of marijuana being the most consumed illicit substance.

Keywords: Drugs; abuse; Marijuana; Cocaine; Roraima.

1. INTRODUÇÃO

Drogas são substâncias químicas naturais ou sintéticas capazes de alterar o funcionamento dos organismos vivos, podendo agir em um órgão específico ou em todo o indivíduo [1]. Passam a ser denominadas drogas de abuso quando utilizadas com o objetivo de obter um efeito psicoativo recreativo, sem qualquer indicação terapêutica ou orientação médica, a ponto de causar dependência física ou psicológica e/ou redução da capacidade de viver enquanto um membro produtivo da sociedade [2].

O uso de drogas com intuito recreacional tem sido relatado ao longo da história da humanidade, porém o uso abusivo nunca esteve tão disseminado quanto na sociedade contemporânea. As drogas eleitas para estes fins são denominadas psicoativas ou psicotrópicas e atuam no Sistema Nervoso Central (SNC) modificando o humor, a consciência, os pensamentos e os sentimentos [3].

Com o objetivo de frear o consumo ilegal dessas substâncias, diversas normas têm sido aplicadas por inúmeros países, em atendimento a recomendações de organismos internacionais como a Organizações das Nações Unidas (ONU). No Brasil, as normas que regem as questões relacionadas às drogas de abuso são representadas pela Lei nº 11.344/06, que institui o sistema nacional de políticas públicas sobre drogas [4,1], e a Portaria nº 344/98 – ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) e suas atualizações, que aprova o regulamento técnico sobre substâncias e medicamentos sujeitos a controle especial [5,1]. No caso das substâncias de uso proscrito (proibido) no Brasil estão descritas na Lista F do anexo I da referida, e suas respectivas atualizações [5].

Segundo dados do último relatório da United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC), publicado em 2018, a maconha foi a droga mais consumida em 2016 e que drogas como a heroína e a cocaína, que tem estado disponíveis por um período significativo, coexistem de modo crescente com novas substâncias psicoativas (NSP) e medicamentos sob prescrição. O número de pessoas em todo o mundo que usaram drogas ao menos uma vez por ano permaneceu estável em 2016, com cerca de 275 milhões de pessoas ou cerca de 5,6% da população global entre 15 e 64 anos [6].

No Brasil, o Relatório Brasileiro sobre Drogas (RBD), publicado em 2009 constitui-se na primeira fonte unificada de informações sobre drogas no país e tem como objetivo geral analisar e reportar a situação da demanda, da oferta e dos danos associados a drogas no Brasil nos anos de 2001 a 2007 [7].

Segundo o RBD de 2009, no Brasil, de 2001 para 2005, houve aumento nas estimativas de uso na vida de álcool, tabaco, maconha, solventes, benzodiazepínicos, cocaína, estimulantes, barbitúricos, esteroides, alucinógenos e crack, com diminuição nas de orexígenos, xaropes, opiáceos e anticolinérgicos. Enquanto que na Região Norte, no mesmo período, houve aumento nas estimativas de uso na vida de tabaco, cocaína, esteroides e alucinógenos, com diminuição nas de maconha, solventes, benzodiazepínicos, orexígenos, estimulantes, barbitúricos, opiáceos, anticolinérgicos, crack e merla [7].

Em Boa Vista, de acordo com o último levantamento nacional sobre o consumo de drogas entre adolescentes em idade escolar, entre os anos de 2004 e 2010, foi constatada a redução na quantidade de estudantes que relataram consumo de inalantes, maconha, ansiolíticos, cocaína e anfetamínicos, tanto para os parâmetros de uso na vida quanto no ano [8]

Desta forma fica evidente que estudos científicos, como os exames químicos em drogas de abuso, são necessários para o adequado planejamento de políticas públicas sobre os problemas individuais e sociais relacionados ao uso de drogas, os quais se somarão às demais abordagens e levantamentos possibilitando uma visão global do assunto.

Este artigo tem como objetivo analisar o quantitativo de Exames Químicos de Identificação de Drogas de Abuso realizados no Laboratório de Biologia e Química Forense do Instituto de Criminalística da Polícia Civil de Roraima (ICPCRR), como uma das principais fontes de pesquisa utilizada para avaliar e compreender o consumo de drogas no Estado Roraima, no período compreendido entre os anos de 2008 a 2018.

2. METODOLOGIA

A pesquisa consistiu na busca na base de dados do Instituto de Criminalística da Policia Civil de Roraima (ICPCRR), visando coletar o quantitativo referente aos Exames de Constatação em Substância (Exames Preliminares) realizados no Laboratório de Biologia e Química Forense do ICPCRR no período de 2008 a 2018. A escolha para se contabilizar os Exames de Constatação em Substância deveu-se pelo fato de que os referidos exames são registrados assim que dão entrada no Instituto de Criminalística, oferecendo, desta forma, dados estatísticos fidedignos quanto às datas das respectivas apreensões nas delegacias da Polícia Civil do Estado de Roraima. Fato que este que não ocorre com as Requisições de Exames Definitivos, as quais são registradas posteriormente, pois seu registro depende da situação operacional do equipamento onde os mesmos são realizados. Os testes estatísticos foram realizados por meio do programa BioEstat (5.3), onde realizamos a Análise de variância (ANOVA) para a comparação de semelhanças entre as drogas a 95% de confiança e,

quando necessários o Teste T de Student (95%) para estabelecer a formação de grupos.

Para realizar a análise dos resultados pensamos que analisar mais de um grupo simultaneamente torna-se complexo e de difícil entendimento ao leitor. Portanto separamos as drogas da análise histórica de 11 anos (2008 – 2018) de exames realizados pelo Laboratório de Biologia e Química Forense do Instituto de Criminalística da Polícia Cívil do Estado de Roraima em 2 grupos: Cocaína e Maconha.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na análise histórica dos exames de drogas realizados pelo Laboratório de Biologia e Química Forense do ICPCRR compilamos dados de 2008 a 2018, para cocaína e maconha. As quantidades analisadas nesse período de 11 anos foram: cocaína 4.877 (média anual de 443,36 ± 180,69), maconha 4.572 (média anual de 415,64 ± 225,80). Essa variação demonstra que as quantidades dessas drogas não são diferentes estatisticamente (Fig. 1).

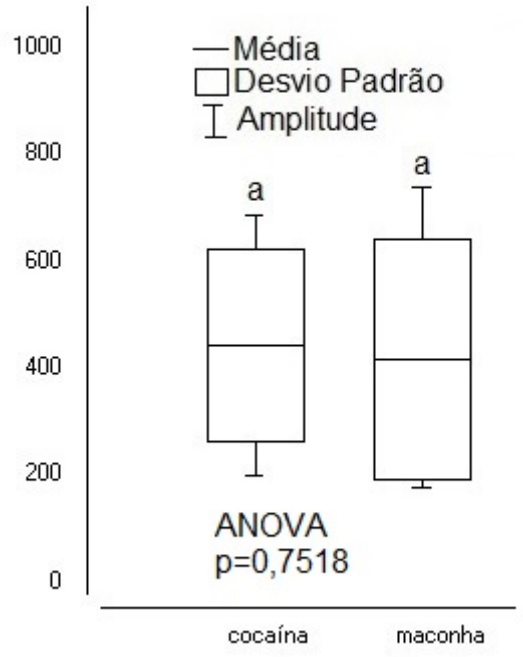

Figura 1. Box-Plot da variação de drogas dos anos de 2008 a 2018, realizadas no Laboratório de Biologia do ICPCRR. A letra **a** corresponde a semelhança testada no teste ANOVA (95%).

Na Figura 1 observamos que entre cocaína e maconha não há diferença em tais variações ao longo dos anos, acompanhando desta forma as estatísticas das Polícias Civis dos demais Estados da Federação onde se observa um quadro de apreensões equilibrado entre a maconha e a cocaína e seus derivados [9].

A maconha é a droga ilícita mais cultivada, traficada e consumida mundialmente [9]. Dados estatísticos da Polícia Federal dos últimos anos apontam que, no Brasil, a maconha é a droga com maior número de apreensões em todas as regiões do país, sendo que a principal região é a Centro-Oeste seguida pela Sul, Sudeste, Norte e Nordeste [9]. Já nas estatísticas da Polícia Civil de Roraima esse quadro de apreensões é equilibrado entre a maconha e a cocaína e seus derivados [10,11]

Para melhor entendimento separamos as drogas acima descritas em dois grupos: cocaína e maconha. Acompanhe a seguir.

3.1. Cocaína

A variação anual dos exames de cocaína realizados no pelo Laboratório de Biologia e Química Forense do ICPCRR demonstrou-nos que as quantidades ao longo dos anos variaram significativamente (Fig. 2).

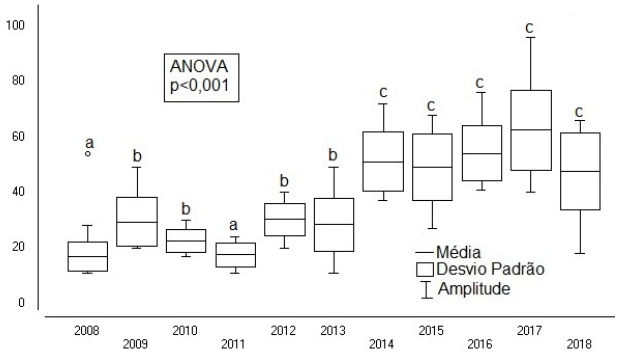

Figura 2. Box-Plot da variação do número de casos de cocaína dos anos de 2008 a 2018, realizadas no Laboratório de Biologia do ICPCRR. As letras **a**, **b** e **c** correspondem a semelhança testada no teste T (95%), devido a necessidade após a ANOVA (95%).

Notamos aqui a formação de 3 grupos por semelhança das médias (**a, b** e **c**/Fig.2). Observamos ainda que houve pouca variação da média de 2008 a 2013, seguindo a tendência mundial, conforme demonstra os Relatórios Mundiais sobre Drogas do Escritório das Nações Unidas sobre Drogas e Crime (UNODC) do período em estudo, quando relata que o consumo e a produção mundial de drogas ilícitas tradicionais (cocaína, heroína e cannabis) tem se mantido estável, com uma queda na produção de cocaína entres os anos de 2007 a 2012, apesar de serem observadas mudanças nos fluxos e mercados de consumo dessas substâncias, com tendência a aumentar nos países emergentes e em desenvolvimento [12]. Todavia, notou-se que houve um aumento, em média nos últimos anos, especificamente de 2014 a 2018 nos exames de Identificação de Cocaína, que deve ser resultado do crescimento do uso e tráfico de cocaína crescente na América do Sul, devido às mudanças nos fluxos e mercados de consumo dessas substâncias, conforme citado anteriormente [12].

Segundo [13], que analisou o perfil de drogas de abuso apreendidas e admitidas no Instituto de Polícia Científica de da Paraíba, entre os meses de janeiro a novembro de 2017, 62,7% das drogas analisadas são

depressoras do SNC, seguidas estimulantes com 35,6%. As apreensões de cocaína realizadas pela Polícia Federal (PF) têm subido, passando de 9.883 Kg em 2003 para 39.311 kg em 2016, perfazendo um aumento de 397,76% [10].

Além do mais, no ano de 2013, houve o aparelhamento no Laboratório de Biologia e Química Forense no Instituto de Criminalística de Roraima. Antes desse evento, os referidos exames eram realizados no Instituto Nacional de Perícias, em Brasília, onde os Peritos do ICPCRR se deslocavam até esse local. Acreditamos que a instalação dos aparelhos no laboratório trouxe à tona uma demanda reprimida, fazendo com que o quantitativo dos Exames de Constatação de Cocaína em 2014 tivesse um incremento de 80,59% em relação ao ano anterior.

3.7. Maconha

A variação anual dos exames de maconha realizados no pelo Laboratório de Biologia e Química Forense do ICPCRR demonstrou-nos que as quantidades ao longo dos anos variaram significativamente (Fig. 3).

Variação dos Exames de Identificação de Maconha no período de 2008 a 2018

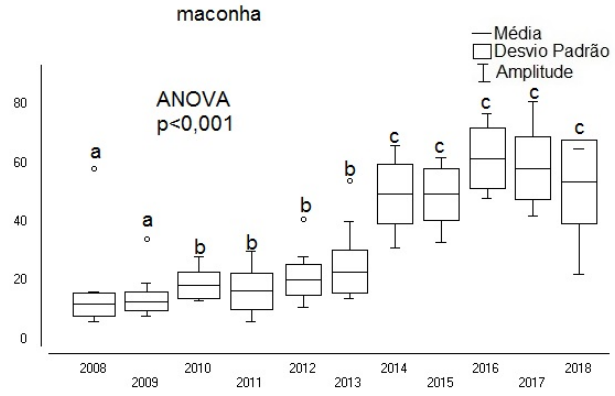

Figura 3. Box-Plot da variação de maconha dos anos de 2008 a 2018, realizadas no Laboratório de Biologia e Química Forense do ICPCRR. As letras **a**, **b** e **c** correspondem a semelhança testada no teste T (95%), devido a necessidade após a ANOVA (95%).

Notamos aqui a formação de 3 grupos por semelhança das médias (**a, b** e **c**/Fig.3). Observamos ainda que ano a ano a demanda só foi aumentando, em média, ratificando os dados dos relatórios da UNODC ao longo dos anos, que evidencia que a Maconha é a substância mais produzida e consumida em todo o mundo, e sua produção está muito difundida, principalmente na América e na África. Com destaque no Ocidente, ao se analisar as tendências ao longo de vários anos, com a mudança das normas sociais no tocante a maconha o seu consumo subiu em paralelo à maior aceitabilidade em relação à droga [6]. No Brasil, essa tendência também é confirmada pelos dados estatísticos da Polícia Federal dos últimos anos que apontam a maconha como a droga com maior número de apreensões em todas as regiões do país [10].

Analises do perfil de drogas de abuso apreendidas e admitidas no Instituto de Polícia Científica de da Paraíba, entre os meses de janeiro a novembro de 2017, admitem que 62,7% das drogas analisadas nesse estudo são depressoras do SNC, seguidas por drogas estimulantes com 35,6% [13]. As apreensões de cocaína realizadas pela Polícia Federal (PF) têm subido, passando de 168.867 Kg em 2003 para 224.829 kg em 2016, perfazendo um aumento de 133,14% [10].

O aumento no número de Exames de Identificação de Maconha a partir de 2014 também é resultado do aparelhamento do Laboratório de Biologia e Química do ICPCRR, conforme relatado anteriormente.

4. CONCLUSÕES

Os dados apresentados evidenciam o crescimento do consumo de cocaína e maconha no Estado de Roraima, bem como um maior consumo de cocaína em relação à maconha, apesar de discreto, indo na contramão da tendência mundial de a maconha ser a substância ilícita mais consumida.

Destacamos a importância dos Exames Químicos Definitivos em Drogas de Abuso como evidências científicas, que conjuntamente com outros levantamentos e estudos epidemiológicas servirão de embasamento para a formulação de ações de políticas públicas mais eficientes e eficazes no combate ao tráfico e consumo de drogas de abuso pela população.

AGRADECIMENTOS

Ao Diretor Sttefani Pinheiro Ribeiro do ICPCRR pela autorização de publicação dos dados aqui apresentados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A.T. Bruni, J.A. Velho, M.F. Oliveira. **Fundamentos de química forense: uma análise prática da química que soluciona crimes**. Campinas-SP: Millennium Editora, 2012.

[2]. L. R. P. Sousa. A química forense na detecção de drogas de abuso. Retirado em 05/03/2019, de: http://www.cpgls.pucgoias.edu.br/6mostra/artigos/SAUDE/LUANA%20RAQUEL%20PINHEIRO%20DE%20SOUSA.pdf.

[3] M. Passagli. **Toxicologia forense: teoria e prática.** Campinas-SP: Millennium Editora, 2007.

[4]BRASIL. Lei 11344. 2006. Retirado em 06/03/2019, de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11344.htm.

[5] BRASIL. ANVISA. Lista de substâncias sujeitas a controle especial no Brasil. 2016. Retirado em: 06/03/2019, de: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1998/prt0344_12_05_1998_rep.html.

[6] UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime). World drug report 2018. United Nations Publications, 2018. Retirado em: 10/03/2019, de: https://www.unodc.org/lpo-brazil/pt/frontpage/2018/06/relatorio-mundial-drogas-2018.html.

[7] BRASIL. Presidência da República. Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas. Relatório brasileiro sobre drogas / Secretaria Nacional de Políticas sobre Drogas; IME USP; organizadores Paulina do Carmo Arruda Vieira Duarte, Vladimir de Andrade Stempliuk e Lúcia Pereira Barroso. – Brasília: SENAD, 2009. Retirado em 07/03/2019, de: https://obid.senad.gov.br/dados-informacoes-sobre-drogas/pesquisa-e-estatisticas/populacao-geral/relatorio-brasileiro-sobre-drogasrbd.

[8] VI Levantamento Nacional sobre o Consumo de Drogas Psicotrópicas entre Estudantes do Ensino Fundamental e Médio das Redes Pública e Privada de Ensino nas 27 Capitais Brasileiras. 2010. Retirado em: 10/03/2019, de: https://www.cebrid.com.br/vi-levantamento-estudantes-2010/.

[9] D.C.B.M. Messias, R. Lanaro; S.O.S. Cazenave; J.L. Costa. Análise forense: pesquisa de drogas vegetais interferentes de testes colorimétricos para identificação dos canabinoides da maconha (*Cannabis sativa* L.). Quim. Nova, **35 (10)**, 2040-2043, 2012.

[10] Polícia Federal. Estatística de drogas apreendidas. Retirado em: 11/03/2019, de: http://www.dpf.gov.br/imprensa/estatistica/drogas.

[11] R.A. Bressan; F.S. Jungerman; R, Laranjeira. Maconha: qual a amplitude de seus prejuízos? Rev. Bras. Psiquiatria. **27(1)**, 5-6, 2005.

[12] UNODC (United Nations Office on Drugs and Crime). World drug report 2014. United Nations Publications, 2014. Retirado em: 12/03/2019, de: https://www.unodc.org/lpo-brazil/pt/frontpage/2014/06/26-world-drug-report-2014.html.

[13] G.R. Silva; R.A.R. Costa; P.Q. Lopes; J.R.O. Ferreira; A.F. Santos Júnior; H.I.F. Magalhães. Perfil de drogas de abuso apreendidas e admitidas no Instituto de Polícia Científica entre os meses de janeiro a novembro de 2017. Rev. Bras. Crimin. **7(3)**, 37-43, 2018.

v. 8, n. 2, p. 63-67, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.391

Perfil epidemiológico das vítimas de violência sexual envolvendo Drogas Facilitadoras de Crime (DFCs)

R. Marton [a,*], C.A. Oliveira [a], M.J.T. Izar [a], N.E. Miranda [a], V.A.P. Gianvecchio [a,b], D.M. Gianvecchio [c], F.P. Itri [b]

[a] *Universidade Anhembi Morumbi, Curso de Medicina, São Paulo (SP), Brasil*
[b] *Núcleo de Toxicologia Forense, Instituto Médico Legal do Estado de São Paulo, Superintendência de Polícia Técnico-Científica, São Paulo (SP)*
[c] *Núcleo de Clínica Médica, Instituto Médico Legal do Estado de São Paulo, Superintendência de Polícia Técnico-Científica, São Paulo (SP)*

**Endereço de e-mail para correspondência: ricardo.marton@hotmail.com. Tel.: +55-11-975131478.*

Recebido em 17/06/2019; Revisado em 01/10/2019; Aceito em 13/11/2019

Resumo

O uso de Drogas Facilitadoras de Crimes (DFCs) tornou-se um exercício comum entre criminosos, viabilizando o ato sexual de maneira que haja pouca ou nenhuma resistência por parte da vítima. Diante disso, objetivou-se, por meio de registros de crimes sexuais envolvendo submissão química, correlacionar esse tipo de violência com as características epidemiológicas. Trata-se de um estudo retrospectivo, transversal, e documental elaborado através do levantamento de dados, do período de 2016 a 2017, oriundos de laudos toxicológicos de crimes relacionados ao uso de DFCs realizados pelo Núcleo de Toxicologia Forense do Instituto Médico Legal do Estado de São Paulo (NTF-IML/SP). O estudo demonstrou que as vítimas de crimes sexuais associados a substâncias psicoativas são majoritariamente mulheres jovens que sofreram violência sexual no centro da cidade de São Paulo. A análise dos laudos toxicológicos evidenciou que o álcool etílico foi o psicoativo mais empregado, isolado ou associado a outros psicoativos, na prática criminosa. A metoclopramida e o delta 9- tetraidrocanabinol (Δ9-THC), isolados ou associados a substâncias psicoativas, também são frequentemente utilizados para tal fim. A correlação entre os resultados é fraca para indicar qualquer relação direta entre as variáveis, porém, o resultado do exame toxicológico correlacionado com o sexo das vítimas foi a evidência mais significativa.

Palavras-Chave: Drogas Facilitadoras de Crime; Submissão química; Crime sexual; Violência sexual.

Abstract

The use of Crime-Facilitating Drugs (DFCs) has become a common exercise among criminals, enabling the sexual act so that there is little or no resistance on the part of the victim. Therefore, it was aimed, through records of sexual crimes involving chemical submission, to correlate this type of violence with the epidemiological characteristics. This is a retrospective, cross-sectional, and documentary study based on the data collection, from the period 2016 to 2017, from toxicological reports of crimes related to the use of CFDs performed by the Nucleus of Forensic Toxicology of the Legal Medical Institute of the State of São Paulo (NTF-IML / SP). The study showed that victims of sexual crimes associated with psychoactive substances are mostly young women who have suffered sexual violence in the city center of São Paulo. The analysis of the toxicological reports showed that ethyl alcohol was the most used psychoactive, isolated or associated with other psychoactive substances, in criminal practice. Metoclopramide and delta 9-tetrahydrocannabinol (Δ9-THC), isolated or associated with psychoactive substances, are also frequently used for this purpose. The correlation between the results is weak to indicate any direct relationship between the variables, however, the result of the toxicological test correlated with the sex of the victims was the most significant evidence.

Keywords: Crimes Facilitating Drugs; Chemical submission; Sexual crime; Sexual violence.

1. INTRODUÇÃO

A violência sexual é uma prática frequente. Apesar das muitas e diferentes definições de violência sexual, a Organização Mundial da saúde (OMS) define tal prática como: "todo ato sexual, tentativa de consumar um ato sexual ou insinuações sexuais indesejadas; ou ações para comercializar ou usar de qualquer outro modo a sexualidade de uma pessoa por meio da coerção por outra pessoa, independentemente da relação desta com a vítima, em qualquer âmbito, incluindo o lar e o local de trabalho". [1]

O emprego de substâncias psicoativas facilita a execução desse tipo de violência, considerada crime e definida como violação sexual mediante fraude, segundo o Artigo 215 do Código Penal Brasileiro, sendo descrita como: "ter conjunção carnal ou praticar outro ato libidinoso com alguém, mediante fraude ou outro meio que impeça ou dificulte a livre manifestação de vontade da vítima". [1]

Quando substâncias psicoativas são utilizadas para o entorpecimento de uma vítima em potencial, essas são denominadas Drogas Facilitadoras de Crime (DFCs). Tais substâncias são capazes de colocar o individuo em uma posição de vulnerabilidade perante ao agente transgressor. [2,3,4] As DFCs mais utilizadas são os benzodiazepínicos, álcool, cetamina, Gama-hidroxibutirato (GHB), escopolamina, hipnóticos não benzodiazepínicos, anti-histamínicos e outros. [5]

Dentre os principais sintomas decorrentes das DFCs estão sedação, bradicardia, relaxamento muscular, hipotensão, confusão, náuseas, tonturas, inibição reduzida, problemas de julgamento, perda da consciência e amnésia anterógrada. Depressão respiratória e até mesmo morte podem ser consequências dessas substâncias em altas doses, consumidas isoladamente ou de forma associada. [5]

As matrizes biológicas envolvidas na detecção das DFCs compreendem amostras de sangue, cabelo, urina, saliva, vômitos, roupas e resíduos da cena do crime; sendo que a escolha da técnica depende da amostra e esta deve ser coletada antes da administração de qualquer medicamento. O tempo entre a ocorrência e a coleta dos exames deve ser de até 96 horas para a amostra de urina, e no máximo 48 horas para a amostra de sangue e urina coletadas concomitantemente. [5]

Na ocorrência de crimes envolvendo DFCs o exame de corpo de delito é solicitado pela autoridade policial com o objetivo de tornar evidente a presença de sinais de violência física e/ou sexual, além de detecção de substâncias na vítima. O órgão responsável, no Estado de São Paulo, pela análise das amostras é o Núcleo de Toxicologia Forense (NTF) do Instituto Médico Legal do Estado de São Paulo (IML/SP), ligado à Superintendência de Polícia Técnico-Cientifica (SPTC/SP).

Tendo em vista a gravidade do uso de DFCs na prática de crimes sexuais, tal estudo visa traçar o perfil epidemiológico das vítimas, justificando assim sua magnitude. Objetiva-se a análise de boletins de ocorrência com registros de crimes de violência sexual decorrentes do uso de substâncias psicoativas e sua relação com aspectos sociodemográficos. Reconhecer este perfil e as drogas mais utilizadas nesse tipo de delito é imprescindível para a elaboração de medidas públicas preventivas.

2. MÉTODOS

Trata-se de um estudo retrospectivo, transversal, documental elaborado por meio de levantamento de dados, dos anos de 2016 e 2017, oriundos de laudos toxicológicos de crimes envolvendo DFCs executados pelo Núcleo de Toxicologia Forense do Instituto Médico Legal do Estado de São Paulo (NTF-IML/SP) e disponibilizados pela Superintendência de Polícia Técnico-Científica do Estado de São Paulo.

As variáveis avaliadas dos laudos foram: data da ocorrência, data da notificação, sexo e idade da vítima, resultado do exame toxicológico e o tipo de substância encontrada, além da frequência de resultados negativos. A amostra contempla apenas laudos de vítimas de crimes sexuais; exames realizados em vítimas de crimes ocorridos no Estado de São Paulo; casos com a guia de requisição de exame toxicológico com indicações do

crime e laudos de exames toxicológicos que apresentem as variáveis a serem analisadas.

O projeto foi aprovado pela Comissão Científica e de Ética em Trabalhos Periciais da Superintendência de Polícia Técnico Científica de São Paulo (SPTC/SP). O estudo apresenta risco mínimo, garantindo sigilo no que diz respeito à identificação da vítima ou de outras pessoas envolvidas no caso. Os dados coletados foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos nesse estudo.

Os dados obtidos foram tabulados no Microsoft Excel® e quantificados para análise. A seleção dos testes estatísticos para comparação entre as amostras, bem como a escolha das medidas de tendência central e dispersão dos valores que compõem as mesmas se baseou nos tipos de distribuição.

As distribuições foram determinadas como paramétricas ou não paramétricas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, de acordo com o programa estatístico SPSS® (SPSS® Inc; Ilinois, USA). Os valores obtidos pela análise de cada variável contínua de distribuição paramétrica foram organizados e representados através da média e do desvio padrão, para as não paramétricas a mediana e amplitude interquartis. Para as categorizadas utilizaram-se frequências absolutas e relativas.

Para a comparação entre as médias de duas populações amostrais paramétricas, o teste "t" de Student foi aplicado, entre as médias de três ou mais populações a análise de variância (ANOVA) com teste auxiliar de Bonferroni e nas análises pareadas os testes T pareado e ANOVA de medidas repetidas, respectivamente. Para duas populações amostrais não paramétricas, a comparação será feita pelo teste de Mann-Whitney, entre três ou mais populações adotou-se o teste de Kruskall-Wallis com teste auxiliar de Dunn e nas análises pareadas os testes de Wilcoxon e Friedman, respectivamente.

Comparações da frequência de um fenômeno entre grupos de variáveis categorizadas foram realizadas com o emprego do teste exato de Fisher e teste do qui-quadrado. Na análise multivariada, foram utilizados os testes de razão de chances e regressões linear e logística. Para a verificação da existência de correlação entre duas variáveis contínuas, foram utilizados os testes de correlação de Pearson para as variáveis paramétricas de Spearmann para as variáveis não paramétricas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra pesquisada contou com 138 laudos toxicológicos elaborados pelo NTF-IML/SP, dos quais 79 (57%) apresentaram DFCs em amostras de sangue ou urina das vítimas de furto/roubo ou crime sexual, de acordo com a Fig. 1.

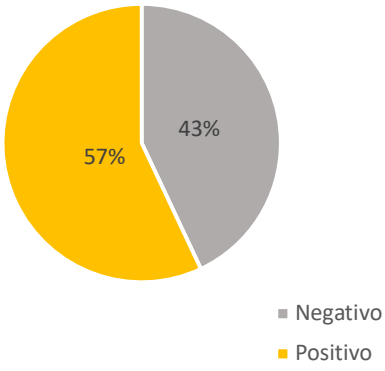

Fig. 1 – Distribuição percentual dos laudos toxicológicos de vítimas de crimes envolvendo DFCs de acordo com o resultado.

Como visualizado na Fig. 2, observa-se que do total de 138 laudos toxicológicos, 102 (74%) apontam para crime sexual e 36 (26%) para roubo/furto, havendo, portanto, uma predominância dos crimes de violência sexual em relação aos crimes de roubo/furto.

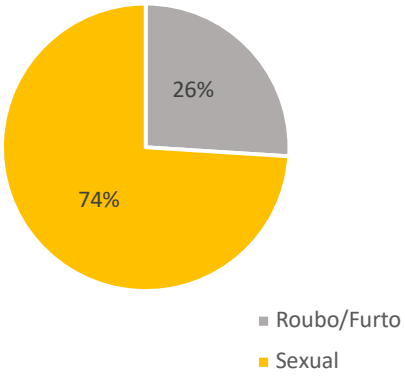

Fig. 2 - Distribuição percentual das vítimas de crimes envolvendo DFCs de acordo com o tipo de crime.

Observando a Fig. 3, nota-se que do total de 102 vítimas de crime sexual, 49 (48%) apresentaram pelo menos um exame toxicológico positivo para DFCs e 53 (52%) tiveram exame toxicológico negativo em amostras de urina e sangue. Percebe-se que a detecção de substâncias nos exames toxicológicos não ocorreu na maioria dos casos.

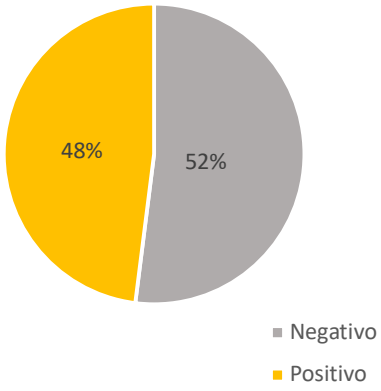

Fig. 3 – Distribuição percentual das vítimas de crime sexual envolvendo DFCs de acordo com o exame toxicológico.

Quanto ao sexo, do total de 49 exames toxicológicos positivos nas vítimas de crime sexual, 48 (98%) são do sexo feminino contra apenas 1 (2%) do sexo masculino, como demonstrado na Fig. 4. Evidencia-se que o número de vítimas do sexo feminino é muito maior em relação ao sexo oposto.

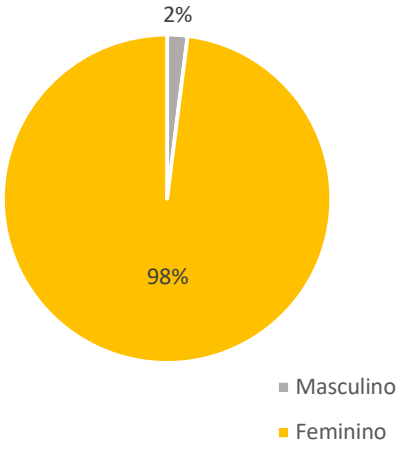

Fig. 4 - Distribuição percentual das vítimas de crimes sexuais envolvendo DFCs com exame toxicológico positivo de acordo com o sexo.

A idade mínima presente na amostra foi de 12 anos, e a máxima 53 anos. Sendo que total de 49 exames toxicológicos positivos nas vítimas de crime sexual, 23 (47%) tem idade entre 12 e 20 anos; 19 (39%) com idade entre 21 e 30 anos; e apenas 1 (2%) com idade entre 51 e 53 anos. Indivíduos mais jovens são as principais vítimas.

Na cidade de São Paulo, as regiões que apresentaram os maiores números de crimes sexuais envolvendo substâncias psicoativas foram Centro (29%), Leste (27%) e Norte (20%), sendo a região sudeste aquela com menor número de ocorrências, 2% dos casos Fig. 5.

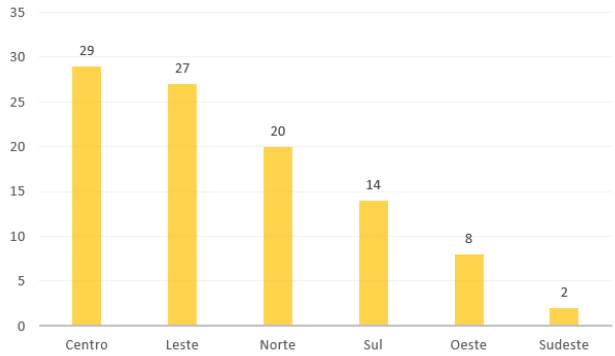

Fig. 5 - Distribuição percentual das vítimas de crimes envolvendo as DFCs de acordo com a região da Cidade de São Paulo.

Os resultados dos exames toxicológicos indicam que o álcool etílico, a metoclopramida e o delta 9-tetraidrocanabinol (Δ9-THC) foram as substâncias mais encontradas tanto nas amostras de sangue como nas de urina.

O álcool etílico é o composto químico mais utilizado como DFC pelo fácil acesso financeiro e legal. Tal substância deprime o Sistema Nervoso Central (SNC) através da ativação do GABA (ácido gama-aminobutírico) e inibição do glutamato, neurotransmissores inibitório e excitatório do SNC, respectivamente.

Conforme sua concentração sérica, os sintomas variam desde alteração de visão, memória, concentração e coordenação até perda de controle corporal e depressão respiratória. [6,7,8]

O Δ9-THC é o principal componente psicoativo da *Cannabis sativa*, droga de uso recreativo, que atua nos receptores canabinoides (CB1 e CB2). Sua ação é complexa e dose dependente, relacionando-se com efeitos

subjetivos como alteração das funções sensoriais; euforia; sedação; prejuízo da motricidade, memória e aprendizado. [9,10]

A metoclopramida é um fármaco gastrocinético com propriedades antieméticas. [11] O seu mecanismo de ação envolve o antagonismo dos receptores 5-HT3 e o agonismo dos receptores 5-HT4, além da sensibilização dos receptores muscarínicos e do antagonismo dopaminérgico. [12] Suas repercussões no SNC incluem desorientação, alucinações e confusão. [11]

Alguns medicamentos foram detectados durante as análises das matrizes biológicas e estes foram referidos como utilizados pelas próprias vítimas, sem qualquer relação direta com a prática criminosa. O fármaco mais encontrado foi o Cloridrato de Sertralina, antidepressivo inibidor seletivo da receptação de serotonina.

4. CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou que as vítimas de crimes sexuais envolvendo Drogas Facilitadoras de Crime (DFCs) são majoritariamente indivíduos do sexo feminino, com idade entre 12 e 20 anos, que foram violentados no centro da cidade de São Paulo. O álcool etílico foi a substância mais utilizada de forma isolada na prática desse tipo de crime, seguido do componente psicoativo Δ9-THC da *Cannabis sativa* e a metoclopramida. Tais substâncias também foram as mais utilizadas de forma combinada nesse tipo de ação criminosa.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Decreto-Lei n. 2.848, de 07 de dezembro de 1940. Código Penal. *Diário Oficial da União* (1940). Retirado em 18/02/2019, de http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/529748/codigo_penal_1ed.pdf.

[2] FOLGAR, M. I.; BOUBETA, A. R. Drogas facilitadoras de asalto sexual y sumisión química. *Health Addictions Salud Drogas* ***15***: 137-150 (2015). Retirado em 18/02/2019, de http://ojs.haaj.org/index.php/haaj/article/view/246/254

[3] SACRAMENTO, M. Drogas facilitadoras de crime: novo método de análise (2015). Retirado em 03/01/2019, de http://www.usp.br/aun/antigo/exibir?id=6915&ed=1207&f=30.

[4] ISORNA, M. et al. Binge drinking: conductas sexuales de riesgo y drogas facilitadoras del asalto sexual em jóvenes españoles. *Suma Psicológica* ***22***: 1-8 (2015). Retirado em 18/02/2019, de http://www.scielo.org.co/pdf/sumps/v22n1/v22n1a01.pdf.

[5] BAIRROS, André Valle de; YONAMINE, Mauricio. *Toxicologia Forense*. Blucher, Brasil (2018), 637-646.

[6] LEBEAU, Marc; MOZAYANI, Ashraf. *Drug-Facilitated Sexual Assault: A Forensic Handbook*. Academic Press, Estados Unidos da América (2001).

[7] MADEA, Burkhard; MUßHOFF, Frank. Knock-out drugs: Their prevalence, modes of action, and means of detection. *Deutsches Ärzteblatt International* ***106***: 341-347 (2009). Retirado em 18/02/2019, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2689633/

[8] DRUMMER, Olaf H.; ODELL, Morris. Ethanol. *The forensic pharmacology of drug of abuse*. Arnold Publishers, Reino Unido (2001) 274-309.

[9] CRIPPA, José et al. Efeitos cerebrais da maconha – resultados dos estudos de neuroimagem. *Revista Brasileira de Psiquiatria* ***27***: (2005). Retirado em 18/02/2019, de http://www.scielo.br/pdf/rbp/v27n1/23717.pdf?fbclid=IwAR0TrdUqTBs93HgITAwkf0DNWHv2gPyoPQ5Fxrakbh2qycmC4AUEFJcBnGM.

[10] SANTOS, Bárbara da Silva; COERTJENS, Marcelo. A Neurotoxicidade da Cannabis sativa e suas repercussões sobre a morfologia do tecido cerebral. *Arquivos Brasileiros de Ciências da Saúde* ***39***: (2014). Retirado em 03/01/2019, de https://www.portalnepas.org.br/abcshs/article/view/250/383.

[11] ORTA, Ismary Alfonso et al. La metoclopramida y sus reacciones adversas sobre el sistema nervioso central. *Revista Cubana de Medicina General Integral* ***27***: (2011). Retirado em 18/02/2019, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252011000200008&script=sci_arttext&tlng=en.[12] SHARKEY, Keith A.; WALLACE, John L. *As bases farmacológicas da terapêutica de Goodman & Gilman.* AMGH, Brasil (2012) 1325.

v. 8, n. 2, p. 68-74, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.228

Dilemas na dosagem de etanol *post mortem* em vítimas de acidentes de trânsito

V. S. Macedo [a,*], E. Souza[a], S. N. Velho[a]

[a]*Centro Universitário da Serra Gaúcha, Caxias do Sul (RS), Brasil*

**Endereço de e-mail para correspondência: viviane.sesti@gmail.com Tel.: +55-54-984048759.*

Recebido em 06/10/2017; Revisado em 30/10/2018; Aceito em 30/12/2019

Resumo

O álcool (etanol) é uma substância psicoativa presente em bebidas muito utilizadas pela sociedade desde tempos antigos até os dias atuais. Assim, é muito presente no organismo dos envolvidos nos acidentes de trânsito com vítimas fatais. A análise de sua concentração na vítima é realizada por peritos, no entanto, possui muitos paradoxos quanto à sua verossimilhança. Metodologia: foi realizada uma revisão bibliográfica acerca de conceitos toxicológicos, diferenças de amostras utilizadas, de principais metabólitos do álcool e de aspectos de valores do mesmo nos acidentes de trânsito, visando ilustrar os dilemas enfrentados pelos profissionais forenses no dia a dia. Conclusão: O procedimento analítico adotado pelo perito é variante conforme a cena do acidente, demandando uma completa análise das informações e amostras disponíveis.

Palavras-Chave: Acidentes de trânsito; Etanol; Post mortem; Biotransformação; Toxicologia.

Abstract

Alcohol (ethanol) is a psychoactive substance present in drinks that are highly used by society from past to present. Therefore, it is present a lot in the bodies from the involved on traffic accidents with fatal victims. The concentration analysis on the victim is made by forensics experts, although, it has so many paradoxes with respect to it likelihood. Methodology: a literature review was made about toxicological concepts, differences from used specimens, from alcohol main metabolites and from values aspects on traffic accidents, aiming to illustrate the faced daily dilemmas by the forensics professionals. Conclusion: the analytical process adopted by the forensics expert diversifies according to the accident scene, demanding a full analysis on data and available samples.

Keywords: Traffic accidents; Ethanol; Post mortem; Biotransformation; Toxicology.

1. INTRODUÇÃO

Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), são registrados no mundo aproximadamente 1,3 milhão de mortes no trânsito, o que retrata 3 mil mortes/dia. Além disso, existe uma relação entre episódios de acidentes de trânsito e uso de álcool (etanol) [1].

O etanol é uma das substâncias psicoativas mais consumidas pela sociedade e constitui um dos maiores problemas de saúde pública [2]. Consegue ocasionar alta taxa de dependência e, inclusive, há evidências de um maior envolvimento de motoristas embriagados em acidentes fatais, como as estatísticas brasileiras demonstram [3,4,5]. Conforme registros da Polícia Rodoviária Federal, em 2016, a ingestão etílica é a terceira principal causa dos acidentes com mortes [4].

O composto tanto pode determinar quanto contribuir em acidentes (quando associado a outros fatores), visto que seu uso é estimulador de alterações neuropsicossomáticas, as quais afetam a condução do motorista (em seu tempo de reação e visão) e na tomada de decisões (como no controle da velocidade e no uso do cinto de segurança) [6]. A chance de ocorrer qualquer tipo de acidente aumenta com a sua ingestão, independente de quantidade. Por exemplo, condutores com níveis iguais ou maiores a 0,2 g/L já têm prejudicadas suas funções de atenção, visão e movimento; já para aqueles com níveis de 0,2 a 0,5 g/L de alcoolemia, o risco de envolvimento em um acidente fatal é de 2,6 a 4,6 vezes maior em relação ao indivíduo sóbrio [6].

O Brasil situa-se em um cenário em que o índice de acidentes de trânsito com vítimas fatais (associado ao consumo de bebidas alcoólicas) continua alto, apesar de algumas diminuições estatísticas terem ocorrido [7].

Diante disso, o Código de Trânsito Brasileiro estabeleceu limites e infrações para condutores influenciados sob o álcool ou substâncias psicoativas que determinem dependência, vide artigos 165 e 306, a fim de minimizar os impactos e impedir novas ocorrências [8]. Importantemente, a Resolução de nº 432 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) dispôs a obrigatoriedade da realização do exame de alcoolemia para as vítimas fatais de acidentes de trânsito [9].

Por conseguinte, a realização de análises toxicológicas deve ser ressaltada. É de extrema seriedade a validação dos testes empregados nos laboratórios de toxicologia forense. A avaliação mais crível é dependente de um adequado manejo nos processos relacionados, desde a cadeia de custódia, aquisição da amostra até o seu correto manuseio [10].

Apesar de a determinação quantitativa e qualitativa do etanol consistir num processo analítico simples e preciso, em decorrência dos adventos tecnológicos, a interpretação desse resultado pode ser duvidosa [6]. Um exemplo disso é uma grande problemática quanto ao resultado - ser de origem endógena ou exógena [11]. Muitos fatores são interferentes na quantidade de álcool presente no cadáver, como as condições ambientais, o tipo de dano corporal, o estado de decomposição e o tipo de amostra analisado [12]. São cruciais os cuidados desde a parte pré à pós-analítica a fim de que os institutos de perícia criminal liberem laudos idôneos. Inclusive, pesquisadores que utilizam bancos de dados relacionados podem gerar estudos com estatísticas errôneas na literatura.

Nesse contexto, o presente estudo objetivou realizar uma revisão bibliográfica a respeito dos conceitos toxicológicos do etanol, de sua origem, dos principais tipos de amostras utilizadas na análise *post mortem* e valores limites de alcoolemia encontrados na literatura.

2. METODOLOGIA

O estudo compõe uma revisão bibliográfica, em que foram utilizados livros impressos e eletrônicos, além de artigos científicos selecionados nos seguintes bancos de dados: Scielo, *PubMed*, PMC, Periódico Capes e Google Acadêmico. Para a pesquisa nestes bancos, foram pesquisadas as seguintes palavras chave (às vezes associadas): etanol (*ethanol*), álcool (*alcohol*), toxicologia (*toxicology*), *post mortem*, amostra *post mortem* (*post mortem specimen*), forense (*forensic*), autópsia (*autopsy*), vítima de acidente de trânsito (*traffic accident victim*), alcoolemia (*BAC*) e fermentação alcoólica (*ethanol fermentation*). Para os critérios de seleção, foram escolhidas publicações entre o período de 1990 a 2017, com idioma em português, inglês e espanhol.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Toxicologia do Etanol

O etanol é um composto altamente hidrossolúvel, de baixo peso molecular e volátil. Ele pode ser absorvido pelas vias oral, havendo a estomacal de rápida absorção (20%) e a do intestino delgado (80%); via cutânea, além da respiratória, diante de sua volatilidade [13,14]. A sua concentração máxima no plasma é alcançada entre 30 a 90 minutos, após a ingestão. A taxa de absorção desse composto varia entre as pessoas e as circunstâncias. Reconhecem-se fatores interferentes, por exemplo, o início da absorção nas microvilosidades intestinais e o tempo de esvaziamento gástrico [2].

Após a ingestão, sua distribuição ocorre rapidamente, sendo que os níveis teciduais são semelhantes aos plasmáticos. Essa distribuição ocorre para a maioria dos tecidos, intracelular ou extracelularmente, conforme a quantidade de água presente. A sua concentração é variada, decrescentemente: sangue, cérebro, rins, pulmões, intestinos, músculos estriados, fígado, ossos e adipócitos [13,15].

Em seguida à absorção do álcool pelo trato gastrintestinal, o mesmo é conduzido ao fígado através do sistema porta hepático [13]. Apenas 2 a 10% da quantia absorvida são eliminados pelos pulmões e rins. Ainda, no hepatócito existem três vias metabólicas diferentes capazes de oxidar o etanol a aldeído acético, sendo elas: ADH – Álcool Desidrogenase (na matriz citoplasmática), SMOE - Sistema Microssomal de Oxidação do Etanol (no retículo endoplasmático liso) e finalmente, o da catalase, nos peroxissomos [15].

Em adição, de acordo com Akkari *et al*, os primeiros caminhos do seu metabolismo são indiferentes para as três vias, levando à produção do acetaldeído [15]. A concentração ingerida difere o tipo da reação: enquanto que com pequenas quantidades de álcool, a ADH catalisa a conversão de etanol em acetaldeído, com maiores concentrações (tanto uso agudo quanto crônico), o SMOE interage de forma constante, elevando o catabolismo do etanol de 4 a 10 vezes. Apesar de o SMOE ser mais ativo que a catalase e a ADH, o mesmo produz radicais livres e superóxidos, potenciais causadores de danos celulares, como mutações, alterações funcionais e morte tecidual [16].

Ainda, o álcool pode ser biotransformado por outras vias não oxidativas, sendo que a porção não oxidada corresponde a até 10% da quantidade ingerida [2, 16]. Há quatro vias reconhecidas pela literatura: a que sintetiza os ésteres de ácidos graxos (FAEE's), via esterificação do etanol com ácidos graxos ou acil graxo coenzima-A endógenos, através de várias enzimas, como a FAEE sintase e acil-CoA: etanol O-aciltransferase (AEAT); a sintetizadora do fosfatidiletanol, fosfolipídeo gerado na membrana celular pela presença do álcool etílico, através da fosfolipase D; e, finalmente, as formadoras de etilglicuronídeo (EtG) e etilsulfato (EtS), produtos da biotransformação do etanol, respectivamente, pelas reações de conjugação da fase II com ácido

glicurônico e com sulfato ativado – rotas que deixam o composto mais hidrofílico [17, 18].

A desintoxicação bioquímica é gradativa, necessitando cerca de 8 a 10 horas para excreção, levando em conta a variação individual decorrente da função renal, hepática, dentre outros [15, 19]. Inclusive, a porcentagem da excreção do álcool está sujeita a um coeficiente, o qual denota a quantidade do etanol eliminado por minuto e quilograma de peso corporal em um determinado momento, independente de sua concentração [15].

O etanol, por ser uma substância depressora do sistema nervoso central, gera uma desordem nas transmissões de impulsos nervosos nas membranas excitáveis [20]. Após a sua ingestão, iniciam-se os efeitos estimulantes, como a presença de euforia e desinibição, e ainda a impulsividade ou passividade, as quais após um tempo alternam para a diminuição da coordenação motora e a falta de controle (conhecidos graus de embriaguez conforme a medicina legal), características geradoras de acidentes de trânsito [21, 22].

3.2 Origem do álcool etílico e principais amostras para análise post mortem

A determinação do álcool consumido pelo indivíduo (etanol exógeno) pode ser realizada tanto pela sua presença inalterada (em determinados tipos de amostras, como ar expirado e urina), quanto pela avaliação de marcadores biológicos, ou seja, de moléculas geradas pelo processo de biotransformação do etanol ou mudanças bioquímicas, presentes em determinados fluídos corporais. Há vários biomarcadores, dentre os quais se podem citar: a gama-glutamil transferase (GGT), alanina e aspartato aminotransferases (ALT e AST), transferrina deficiente em carboidrato (CDT), etil glicuronídeo e etil sulfato (EtG e EtS, respectivamente) e os ésteres de ácidos graxos (FAEEs) [16].

Os ésteres de ácidos graxos são sintetizados na presença do álcool através de ácidos graxos livres, triglicerídeos, lipoproteínas ou fosfolipídios, sendo o palmitato de etila e o oleato de etila os mais abundantes no sangue [23]. Os metabólitos EtG e EtS, principalmente mensurados na urina, geralmente através de cromatografia líquida e/ou gasosa, são mais duradouros que o etanol em relação ao tempo de meia vida e são indicadores do consumo recente e altamente sensíveis e específicos – portanto, em relação aos demais biomarcadores, são mais presentes na literatura em questão. Ainda existem substâncias como o 5-hidroxitriptofano (5-HTOL) e o ácido 5-hidroxi-indolacético (5-HIAA), metabólitos da serotonina, quantificados em urina e utilizados para a detecção do consumo recente, já que seus valores são aumentados significantemente pelo álcool [16, 23, 24].

Entretanto, a falsa determinação pode ocorrer, devido diversos interferentes como, por exemplo, a "redistribuição *post mortem*" – a qual é influenciada por muitos fatores, como a situação do cadáver no estado de putrefação, a interferência ambiental sobre a decomposição, o tempo entre a morte e a coleta da amostra, danos às barreiras fisiológicas e à integridade tissular diante de alterações enzimáticas celulares, liberação e difusão do toxicante do trato gastrointestinal para o sangue e tecidos adjacentes e a ação microbiana [25, 26].

Os microorganismos possuem importante função na putrefação cadavérica, participando na liberação de diversos compostos a partir da quebra dos tecidos moles e seus componentes: gases como dióxido de carbono, ácido sulfídrico, metano, amônia, dióxido de enxofre, gás hidrogênio; diversos compostos orgânicos voláteis (COV), como álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos, ésteres e éteres; além de compostos fosforados e oxigenados. Inclusive, a principal metodologia usada para identificação do etanol, cromatografia gasosa, é de grande valia para identificação dos demais COV's, principalmente na avaliação do intervalo *postmortem* – relevante no auxílio à elucidação de casos de mortes de trânsito não resolvidas [27].

Especficamente, várias espécies bacterianas, as quais migram do sistema gastrointestinal para o linfático e circulatório, fazem uso de carboidratos em seu metabolismo – como, por exemplo, todas as *Enterobacteriaceae*, bactérias fermentadoras, como a *Escherichia coli*, além de vários gêneros de fungos [28, 29]. A partir de uma molécula de glicose, ocorrem séries de reações de clivagens e transformações glicolíticas enzimáticas, as quais geram o ácido pirúvico, este o qual possui destinos alternativos, como a produção de ácido acético, o qual vira álcool etílico [28]. Além disso, também há o uso de aminoácidos e de ácidos graxos para a produção do etanol endógeno, a qual varia conforme a temperatura, o tempo e a disposição nutricional, ocorrente no cadáver ou *in vitro* [28, 29].

O álcool pode ser dosado em diversas matrizes biológicas devido a sua hidrossolubilidade e cinética na distribuição dos fluídos corpóreos [30]. A dosagem de álcool no sangue (alcoolemia) é usualmente a mais analisada em cadáveres, mas sua indisponibilidade leva ao uso de outros espécimes, como a urina, o líquor, a bile e o humor vítreo [30]. Apesar de o sangue femoral ser considerado o espécime recomendado para a análise, muitos patologistas preferem coletar o sangue cardíaco como substituto [30, 31]. L. Jungmann (2011) descreveu um caso de suicídio por intoxicação alcoólica e demonstrou que a alcoolemia diferiu em dois sítios coletados – sendo a do sangue cardíaco significantemente maior que o da femoral, diante da difusão da molécula advinda do conteúdo gástrico, o que destaca a importância da retirada de amostras sanguíneas de locais longe do

estômago e, se possível, a comparação entre os diferentes sítios [32, 33].

Sangue e urina, apesar de muito utilizados, podem sofrer diversas alterações, devido a fatores endógenos do indivíduo (além dos já citados), como a presença de patologias, como diabetes e glicosúria renal, e infecções microbianas generalizadas ou específicas, como aquelas causadas por *Candida albicans*, *Proteus vulgaris*, *E. Coli* e *Staphylococcus aureus* [25, 34]. Um caso relacionado é verificado num estudo *post mortem* efetuado por Antonides *et al*, em que numa amostra de urina de uma senhora com bacteremia por *S. aureus*, rica em glicose e contaminada com *C. albicans*, foi observada a síntese de etanol e de gases como o CO2, trinta dias após sua morte [34]. Além disso, amostras de urina podem estar contaminadas com espécies geradoras da enzima β-glicuronidase, responsável pela hidrólise do Etil Glicuronídeo, como o caso de variadas cepas da *E. coli*. Nessas situações podem ocorrer resultados falso-negativos – caso que sugere a mensuração de EtG juntamente com EtS, pois a concentração deste não é afetada pela hidrólise, sendo a mais adequada para diferenciar a ingestão *ante mortem* da síntese *post mortem* [35].

Além da rotineira análise urinária e sanguínea do etanol, outros espécimes podem ser utilizados, como o humor vítreo e o cabelo [24, 36]. O humor vítreo apresenta como vantagem, raramente estar contaminado – diante de sua estrutura anatômica e de seu meio estéril, não influenciado pela migração bacteriana -, permitindo uma maior estabilidade do etanol e metabólitos ali difundidos, além de ser de fácil manuseio e disponibilidade [24, 30]. Além disso, é relatado que a concentração de etanol nesse espécime e no sangue é similar, diante do fato de o etanol levar pouco tempo para entrar na corrente sanguínea e, por conseguinte, nos fluídos oculares [30]. Diante da sensibilidade e da especificidade do EtG e EtS em corpos sem estado de putrefação, a origem do etanol através deles é capaz de ser bem definida. Enquanto que suas detecções simultâneas sugerem a ingestão *ante mortem*, baixos níveis de etanol sem estes biomarcadores apontam a produção *post mortem* [25, 37].

M. Sundstrom *et al* ressaltam a importância da análise do EtS em corpos decompostos, diante de sua maior estabilidade em relação ao EtG [38]. Singer *et al* relatam que a síntese do etanol no humor vítreo raramente ocorre, pela sua grande distância da cavidade central do corpo, evitando a contaminação originada do rompimento do trato gastrointestinal, concluindo-se que a concentração de etanol achada nessa amostra é provavelmente um indicador seguro [24]. Em estudo realizado por A. Thierauf *et al*, na análise de etanol, EtG e EtS em 26 amostras (sangue, urina e humor vítreo) de vítimas relacionadas ao consumo de etanol, foi encontrada uma boa correlação da concentração do álcool entre essas matrizes (baseado no teste de correlação de *Spearman*), equivalente a: rs = 0.978 (urina/sangue), rs = 0.968 (urina/humor vítreo) e rs = 0.953 (sangue/humor vítreo) [37]. Apesar dos grandes benefícios da análise do humor vítreo, Kugelberg *et al* destacam que a sua realização não é recomendada em casos de pessoas que sofreram alguma doença oftalmológica e/ou alguma cirurgia relacionada, pois esses fatores podem causar várias alterações na cinética do álcool [30].

O cabelo é um tipo de amostra incomum cuja análise realizada é a dos biomarcadores, como ésteres de ácidos graxos e o EtG, e não a do etanol [22, 31, 36]. O EtG pode ser detectado em pequenas quantias não só no cabelo, como também em outros tipos de pelos corporais (axila, púbis, pernas, braços e peito), tornando-se uma alternativa versátil frente a casos de indisponibilidade de espécimes [22, 36]. P. Cabarcos *et al* (2012) abordam que esse tipo de análise é relevante para a diferenciação do consumo alcoólico moderado do crônico, diante da grande janela de detecção disposta, sendo que em seu estudo, valores acima de 50 pg/mg apontavam indivíduos etilistas [36]. No entanto, M. Sundstrom *et al* (2014) alertam da cautela que deve ser tomada com a interpretação de resultados positivos, pois há riscos de contaminação com fontes não líquidas de etanol e de EtG [38]. Assim, apesar do EtG ser mais utilizado, é preconizada a mensuração concomitante deste com a dos FAEE para descarte de casos falso-positivos de alcoolismo – por exemplo, se apenas os ácidos graxos são detectados, é um provável caso de contaminação por cosméticos, enquanto que a presença dos dois sugere alcoolismo agudo ou crônico [22].

Diante dessas possibilidades, é ressaltada a importância da correta conservação dos espécimes *post mortem*, o qual compreende técnicas como a adição de fluoreto de sódio e o armazenamento a -20ºC – capazes de impedir a indesejada formação do álcool pela inibição do crescimento de vários microorganismos, além de permitir a comparação da concentração com outros espécimes, anterior à liberação do laudo [30, 34, 35]. Entretanto, reconhece-se que conservantes, como o fluoreto, podem tanto estabilizar quanto degradar metabólitos. Assim, sempre é recomendada a coleta de múltiplas alíquotas, para amostras preservadas e não preservadas [30].

3.3 Valores de alcoolemia post mortem em acidentes de trânsitos

A OMS reconhece o aumento do número de vítimas fatais de acidentes de trânsito nos países desenvolvidos, além de relevar a importância no aumento da atenção das autoridades pelo combate dos motoristas embriagados, principalmente nos países em desenvolvimento, onde há o uso popular de bebidas alcoólicas por jovens [39,40]. Sabe-se que as leis a

respeito do uso de álcool por condutores diferem de uma nacionalidade para outra [41]. Abreu *et al* em seu estudo demonstraram a variação da alcoolemia presente em alguns países, como a Argentina – com 0,5 g/l, El Salvador – com 1,0 g/l e o México, com 0,8g/L; Além de mostrar que existem países sem normas relacionadas, como Cuba, Bolívia, Haiti e Paraguai [40, 41].

O território brasileiro é considerado um dos países que possui o trânsito mais perigoso, fato que leva os órgãos governamentais a tentar minimizar o índice de acidentes, estabelecendo novas diretrizes que visam melhorar esses resultados [41]. O Conselho Nacional de Trânsito, na resolução nº 432, atribuiu procedimentos a serem adotados pelas autoridades de trânsito – no artigo 165, o condutor sofre infração frente à positividade de alcoolemia independente de concentração, aos sinais de alteração de capacidade psicomotora, inclusive ao teste de etilômetro com concentração igual ou superior a 0,05 mg/L de ar alveolar expirado. Já, o limite considerado para crime, conforme o artigo 306, é a alcoolemia com valor igual ou maior a 0,6 g/L e teste de etilômetro com medição igual ou superior a 0,34 mg/L [8, 9]. Além disso, há a Lei Seca (de nº 11.705), aprovada em 2008, a qual impõe penalidades como 6 a 36 meses de detenção, além de multa ou suspensão da carteira de habilitação para o condutor influenciado pelo álcool [42].

Vários pesquisadores realizaram estudos visando verificar o verdadeiro impacto dessas leis, sendo que foi notada uma grande variação na mortalidade conforme a região, além da maioria deles ter demonstrado um aumento no número de acidentes fatais mesmo após a implantação das leis [43, 44, 45]. Interessantemente, a média de alcoolemia encontrada por alguns autores, associada a esses acidentes, foi inferior ao valor limite que designa crime imposto pelo Código [40, 44]. Ainda, Martins *et al* [45] além de apontarem a constante falha da fiscalização do trânsito, problemática que contraria a proposta das leis, evidenciou em seu estudo de quatro anos, que em relação à época da inexistência da Lei Seca, entre 2008 e 2011 houve uma redução no número de vítimas de acidente de trânsito (influenciadas ou não pelo álcool), de 22,14% - valor apontado como razoável, porém ainda baixo do esperado pelos pesquisadores.

Em contraste a alguns estudos, aos poucos, os dados estão mudando. Em uma operação policial recente (2017), com fiscalização de uso de álcool, excesso de velocidade, ultrapassagens irregulares e transporte de crianças, estatísticas foram levantadas: num comparativo de cinco anos (entre 2013 e 2017), foi registrada uma redução de 53% na taxa de mortalidade nas estradas federais do País [46]. Enquanto que em 2011, houve 128 mortes por milhão de veículos em circulação, em 2016 o número caiu para 68,6 mortes por milhão [46]. Ainda, o Departamento Nacional de Trânsito (Detran) conquistou um recorde reduzindo mortes no trânsito, através de uma maior movimentação de autuações e fiscalizações rotineiras: no primeiro semestre de 2017, foram poupadas 76 vidas, quando comparadas as atuais 115 mortes às 191 ocorridas no mesmo período no ano anterior [47].

Portanto, apesar das diferenças de valores obtidos através da adoção dessas diretrizes, melhorias sempre devem ser feitas, não só em relação ao aumento da vigilância das ruas e dos pontos de venda de bebidas alcoólicas, como também através do desenvolvimento de projetos sociais de conscientização e educação no trânsito.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante desses fatos e do reconhecimento de que a probabilidade de um indivíduo embriagado ser vítima fatal é entre cinco a sete vezes maior do que a de uma pessoa sóbria, é salientada não só a necessidade do aumento de fiscalização no tráfego, como também da melhoria da sinalização e das condições de estradas [46, 47]. Uma situação freqüente nos acidentes de trânsito é que muitas das vítimas fatais não passam por exames toxicológicos de alcoolemia, como no caso de pessoas embriagadas que são encaminhadas a hospitais e que ali falecem, ao contrário daqueles que morrem espontaneamente na via pública [48].

A existência de diversos fatores interferentes na análise de etanol *post mortem* é um segundo ponto a ser levado em conta. Os profissionais devem tomar inteiração de todas as informações disponíveis na cena, como por exemplo, do nível de integridade e decomposição do cadáver, além de saber explorar as possibilidades de amostras, reconhecendo que o sucesso na análise nem sempre é possível pela diversidade dos acidentes [11].

Um maior alerta à população jovem pela sua maior propensão à exposição ao álcool e aos acidentes de trânsito, a incorporação de uma maior fiscalização das vias, do cumprimento das leis de trânsito, da realização de exames nas emergências nosocomiais, da cobertura de todas as vítimas e da adequada análise toxicológica dos acidentes relacionados devem ser preconizados. Esses fatores, se rigorosamente executados pelo governo e pelas instituições médicas e criminais, futuramente refletirão em uma diminuição nos acidentes de trânsito, em uma liberação idônea de laudos periciais e na correta aplicação penal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] T.A. Araujo; A.D.S. Oliveira; I. B. J. Souza. Acidentes de trânsito e sua relação com o consumo de álcool: revisão integrativa. Rev. Enferm. UFP **9**:8437-43 (2015).

[2] O. Seizi; M. A. C. Márcia; A. O. B. José. Etanol. In: O. Seizi; M. A. C. Márcia; A. O. B. José. Fundamentos de Toxicologia. Atheneu. 3. ed. São Paulo, Brasil. 391.

[3] F. Pechansky; L. V. Diemen; V. M. Gonçalves. Aperfeiçoamento em técnicas para fiscalização do uso de álcool e outras drogas no trânsito brasileiro. SENAD. Brasília (2014).

[4] Metro Jornal (2017). Brasil é o quinto país do mundo em mortes no trânsito, segundo OMS. Retirado em 20/08/2017, de https://www.metrojornal.com.br/foco/2017/05/01/brasil-e-o-quinto-pais-mundo-em-mortes-no-transito-segundo-oms.html.

[5] A.G. Andrade; J. C. Anthony; C. M. Silveira. Álcool e suas consequências: uma abordagem multiconceitual. Retirado em 13/09/2016, de http://www.cisa.org.br/UserFiles/File/alcoolesuasconsequencias-pt-cap8.pdf.

[6] F.E. Adura; V. Leyton; J. C. Ponce; A. F. Sabbag. Alcoolemia e Direção Veicular Segura. Rev. Ass. Med. Bras. **54**: 377-86 (2008).

[7] R. H. G. Martins; C. B. H. Ribeiro; T. Fracalossi; N. H. Dias. A lei seca cumpriu sua meta em reduzir acidentes relacionados à ingestão excessiva de álcool? Rev. Col. Bras. Cir. **40**: 438-442 (2013).
[8] Código de Trânsito Brasileiro. Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Retirado em 13/11/2014, de www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm.
[9] Conselho Nacional de Trânsito. Resolução nº 432, de 23 de janeiro de 2013. Retirado em 04/12/2018, de http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/(resolu%C3%A7%C3%A3o%20432.2013c).pdf.
[10] I. V. Lima; G. F. Conti. Morreu sóbrio ou alcoolizado? Rev Int Tox. 2 (2009). Retirado em 24/09/2016, de http://revinter.intertox. com.br/index.php/volume-2 numero-1-fevereiro-de-2009-sao-paulo.
[11] A. Balsini; A. L. Bittencourt. Dosagem Alcóolica com propósitos forenses. Resumo de Monografia, publicado no Boletim Informativo do Instituto de Prevenção e Pesquisa em Álcool e outras Drogas (IPPAD). Instituto de Análises Forenses do IGP/SC, Santa Catarina (2014). Retirado em 24/09/2016, em http://www.igp.sc.gov.br/ index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=78&Itemid=91.
[12] S. Duailibi; R. Laranjeira. Políticas Públicas relacionadas às bebidas alcoólicas. Rev. Sau. Pub. **41**:839-48 (2007).
[13] M.V.P. Ventorin. Metabolismo do Etanol. In: M.V. P. Ventorin. Relação entre a dosagem de etanol no sangue e na saliva. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo (2004). 8-9.
[14] O.A. Martins. Efeito do consumo de bebidas alcoólicas no organismo - Uma revisão. Rev. Elet. Ed. Cien. **3** (2013).
[15] A. C. S. Akkari; E. C. Lima. Padronização de informações sobre metodologias analíticas para a determinação dos níveis de álcool (etanol) em diferentes amostras biológicas. Anais do II Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Federal do ABC, São Paulo (2009).
[16] C. A. Best; M. Laposata. Fatty acid ethyl esters: toxic non-oxidative metabolites of ethanol and markers of ethanol intake. Fron. Bio. **8** (2003).
[17] A. V. F. Marín. Toxicocinética do etanol. In: A. V. F. Marín. Verificação da janela de detecção de etilglicuronídeo urinário entre usuários crônicos e bebedores sociais de etanol por cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas, São Paulo (2006). 9-14.
[18] E. M. A. Leite; L. C. A. Amorim. Toxicologia Geral. Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas, Minas Gerais (2004).
[19] D. V. T. Wong *et al*. Álcool e neurodesenvolvimento: aspectos genéticos e farmacológicos. Rev. Elet. Farm. **1** (2008).
[20] R. Pracz; C. S. M. Santos; R. K. T. Pinheiro; S. C. C. Mainardes. As ações do álcool no sistema nervoso central do dependente químico. Anais da V Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica, Maringá, Paraná (2010).
[21] A. D. Testing. Drug-Free Workplace Advisor. Stages of Alcohol Consumption. Retirado em 20/08/2017, de www.americandrugtesting.net/newsletter/Newsletter27_alcohol_stages.pdf.
[22] P. Fritz. Alcohol Biomarkers in Hair; In: P. Kintz; A. Salomone; M. Vincenti. Hair Analysis in Clinical and Forensic Toxicology. Academic Press, Elsevier, United States of America (2016). 84, 94-95, 100, 110, 116.
[23] A. Helander; I. Olsson; H. Dahl. Postcollection Synthesis of Ethyl Glucuronide by Bacteria in Urine May Cause False Identification of Alcohol Consumption. Jour. Clin. Chem. **53**: 1855-1857 (2007).
[24] P. P. Singer; G. R. Jones; R. Lewis; R. Johnson. Loss of Ethanol from Vitreous Humor in Drowning Deaths. Jour. Anal. Tox. **31** (2007).
[25] M. G. S. Jesus; A. A. M. Chasin; I. V. Lima. Concentrações sanguíneas de xenobióticos: influência da redistribuição post mortem e da estabilidade química e metabólica na interpretação dos resultados analíticos. Rev. Bras. Tox. **12**:87-94 (1999).
[26] C. W. Jared; B. M. Danielle; W. G. S.; L. E. Claire; R. Frank; K. K. P. Microbial impacts in postmortem toxicology. In: D. O. Carter; J. K. Tomberlin; M. E. Benbow; J. L. Metcalf. Forensic Microbiology. Wiley, United States of America; 2017. 212-214, 218-219.
[27] M. Statheropoulos; C. Spiliopoulou; A. Agapiou. A study of volatile organic compounds evolved from the decaying human body. For. Sci. Int. **153**:147-155 (2005).
[28] W. J. Washington *et al*. Koneman, diagnóstico microbiológico: Texto e Atlas colorido. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro (2012) 210-212.
[29] C. L. Correa; R. C. Pedroso. Vantagens e limitações do uso da urina como amostra biológica na dosagem alcoólica. Rev. Psiq. Clin. **27** (2000).
[30] F. C. Kugelberg; A. W. Jones. Interpreting results of ethanol analysis in postmortem specimens: A review of the literature. For. Sci. Int. **165**:10-29 (2007).
[31] P. Cabarcos; I. Álvarez; M. J . Tabernero; A. M. Bermejo. Determination of direct alcohol markers: a review. Anal. Bio. Chem. **407**:4907-25 (2015).
[32] L. Jungmann; M. G. Perdekamp; M. Bohnert; V. Auwarter; S. Pollak. Complex suicide by ethanol intoxication and inhalation of fire fumes in an old lady: Interdisciplinary elucidation including post-mortem analysis of congener alcohols. For. Sci. Int. **209**: 11-15 (2011).
[33] A. K. Chaturvedi. Postmortem Aviation Forensic Toxicology: An Overview. Jour. Anal. Tox. **34** (2010).
[34] H. Antonides; L. Marinetti. Ethanol Production in a Postmortem Urine Sample. Jour. Anal. Tox. **35**: 516-518 (2011).
[35] A. Helander; I. Olsson; H. Dahl. Postcollection Synthesis of Ethyl Glucuronide by Bacteria in Urine May Cause False Identification of Alcohol Consumption. Clin. Chem. Jou. **53**: 1855-1857 (2007).
[36] P. Cabarcos; H. M. Hassan; M. J. Tabernero; K. S. Scott. Analysis of ethyl glucuronide in hair samples by liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry (LC-ESI-MS/MS). Jour. App. Tox. **33**: 638-643 (2013).
[37] A. Thierauf; J. Kempf; M. G. Perdekamp; V. Auwarter; H. Gnann; A. Wohlfarth; W. Weinmann. Ethyl sulphate and ethyl glucuronide in vitreous humor as postmortem evidence marker for ethanol consumption

prior to death. For. Sci. Int. **210**: 63-68 (2011).
[38] M. Sundstrom; A. W. Jones; I. Ojanpera. Utility of urinary ethyl glucuronide analysis in post-mortem toxicology when investigating alcohol-related deaths. For. Sci. Int. **241**: 178-182 (2014).
[39] Organização Mundial da Saúde. Promovendo a defesa da Segurança Viária e das Vítimas de Lesões Causadas pelo Trânsito. Retirado em 24/10/2016, de http://portalsaude.saude.gov.br.
[40] A. M. M. Abreu; J. M. B. Lima; T. A. Alves. O Impacto do Álcool na Mortalidade em Acidentes de Trânsito: Uma questão de Saúde Pública. Rev. Enf. Esc. Ann. Ner. **10**: 87-94 (2006).
[41] G. Bacchieri; A. J. D. Barros. Acidentes de trânsito no Brasil de 1998 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados. Rev. Sal. Pub. **45**: 949-63 (2011).
[42] A. P. P. Oliveira; A. M. M. Abreu; L. A. R. Paixão. Possível impacto da "Lei Seca" nos atendimentos a vítimas de acidentes de trânsito em uma unidade de emergência. Rev. Enf. Esc. Ann. Ner. **17**: 49-54 (2013).
[43] M. N. NUNES; L. F. C. Nascimento. Análise espacial de óbitos por acidentes de trânsito, antes e após a Lei Seca, nas microrregiões do estado de São Paulo. Rev. Ass. Med. Bras. **58**: 685-690 (2012).
[44] M. Z. Stampe; H. H. Silva; D. Schroeter; R. Boni; J. C. Pechansky; S. Santos. Acidentes de trânsito com vítimas fatais necropsiadas no Departamento Médico Legal de Porto Alegre. SENAD, Porto Alegre (2010) 78-83.
[45] R. H. G. Martins; C. B. H. Ribeiro; T. Fracalossi; N. H. Dias. A lei seca cumpriu sua meta em reduzir acidentes relacionados à ingestão excessiva de álcool? Rev. Col. Bras. Cir. **40**: 438-442 (2013).
[46] Portal Brasil. Operação Rodovida aumenta fiscalização nas estradas. 2017. Retirado em 24/08/2017, de www.brasil.gov.br/defesa-e-seguranca/2017/02/operacao-rodovida-aumenta-fiscalizacao-nas-estradas.
[47] Jornal de Brasilia. Detran aumenta fiscalização contra o álcool e registra queda no número de mortes no trânsito. Retirado em 24/08/2017, de www.jornaldebrasilia.com.br/cidades/detran-aumenta-fiscalizacao-conta-o-alcool-e-registra-queda-no-numero-de-mortes-no-transito.
[48] A. M. M. Abreu; J. M. B. Lima; R. H. Griep. Acidentes de trânsito e a frequência dos exames de alcoolemia com vítimas fatais na cidade do Rio de Janeiro. Rev. Enf. Esc. Ann. Ner. **13**: 44-50 (2009).

v. 8, n. 2, p. 75, 2019
ISSN 2237-9223

REVISTA BRASILEIRA DE CRIMINALÍSTICA

DOI: http://dx.doi.org/10.15260/rbc.v8i2.372

Insetos "Peritos" – A Entomologia Forense no Brasil

A.E. dos Santos [a,*] M.P. dos Santos[b,*]

[a] *Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Sergipe (SE), Brasil*

** Endereço de e-mail para correspondência: agneduardo@gmail.com. Tel.: +55-79-999403459.*

1. RESENHA

O livro Insetos "Peritos" – A Entomologia Forense no Brasil" Contribui para divulgação de pesquisas na área da entomologia forense, explicando as principais técnicas, procedimentos e ferramentas utilizadas. Além disso, explana sobre a Estimativa do Intervalo Pós Morte (IPM), reconstituição de movimentação de veículos e a utilização de técnicas que permitem a identificação de autoria de crimes por meio de sangue ingeridos por insetos.

A obra é de autoria da Janyra Oliveira da Costa, e tem vários colaboradores em sua produção. A autora é doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, trabalha atualmente como Perita Criminal no laboratório de entomologia do Instituto Médico Legal Afrânio Peixoto e como Professora e coordenadora do curso de pós-graduação em análise pericial Do Centro Universitário Redentor. Ela também é autora de outras obras na área das ciências forenses

O livro mostra, também, um pouco da rotina do trabalho e muitas informações úteis sobre a carreira do perito em entomologia, a dizer: suas atribuições e como elas são úteis nas diferentes regiões do Brasil. Tornando-se de grande valia para quem interesse em quem quer ingressar na carreira, do mesmo modo a quem já trabalha na área.

Dividido em dezessete capítulos, a autora aborda a temática de forma objetiva, assim como em outras obras, sempre com diversos exemplos que facilita para o leitor.

O capítulo um traz os perfis da profissão de perito, informações sobre o mercado de trabalho, além disso, elenca maneiras de se tornar um biologista forense.

Os capítulos 2,3,4 e 5 são destinados a explicação das metodologias utilizadas e à taxonomia dos insetos de interesse forense. Já os capítulos 6,7,8,9 e 10 aos avanços da entomologia forense no Brasil. Os restante dos capítulos abordam as atualizações em práticas associadas à entomologia forense.

O livro é bastante didático e traz exemplos com fotografias coloridas, o que facilita no aprendizado. É destinado tanto para pessoas que já estão inseridas na carreira de perito, como para estudantes que querem ingressas na área ou às pessoas têm interesse por temas das ciências forenses

Insetos "Peritos" – A Entomologia Forense no Brasil /Janyra Oliveira-Costa. – 1. Ed.

Millennium Editora, 2013.
Número de páginas: **512**
Formato: **23 cm por 16 cm**
Acabamento: **Brochura**
ISBN **978-85-7625-285-6**