

Reconhecimento Semi-Automático de Sinus Frontais para Identificação Humana Forense Baseado na Transformada Imagem-Floresta e no Contexto da Forma *

¹Juan Rogelio Falguera e ²Aparecido Nilceu Marana

UNESP – Faculdade de Ciências – Departamento de Computação – Bauru – SP – Brasil

¹juan.falguera@gmail.com

²nilceu@fc.unesp.br

Resumo

Diversos métodos biométricos baseados em características físicas como impressão digital, face e íris têm sido propostos para identificação humana. No entanto, para a identificação post-mortem, tais características podem não estar disponíveis. Nestes casos, partes do esqueleto do corpo humano podem ser utilizadas. Investigações anteriores mostraram que os padrões dos sinus frontais são únicos para cada indivíduo. Esta dissertação de mestrado propõe um método computacional para o reconhecimento de sinus frontais. Para tanto, foram avaliados métodos de segmentação de imagens de radiografias anteroposteriores de sinus frontais. O método baseado na Transformada Imagem-Floresta demonstrou ser eficiente para segmentação dos sinus frontais das imagens de radiografias. Foram também investigadas e implementadas técnicas para extração de descritores geométricos e baseados nas formas dos sinus frontais. Os resultados obtidos nos experimentos corroboram os encontrados na literatura sobre a individualidade dos sinus frontais e sua viabilidade em termos de precisão e usabilidade para a identificação humana post-mortem.

Abstract

Several methods based on Biometrics such as fingerprint, face and iris have been proposed for person identification. However, for postmortem identification such biometric measurements may not be available. In such cases, parts of the human skeleton can be used. Previous investigations showed that frontal sinus patterns are unique for each individual. The objective of this master thesis is to propose a computational method for frontal sinus recognition for

postmortem human identification. In order to achieve this, methods for frontal sinus segmentation from anteroposterior radiographs were evaluated. The method based on Image-Foresting Transform has shown itself efficient in frontal sinus segmentation from radiograph images. Techniques for extracting frontal sinus geometrical and shape-based descriptors were investigated and implemented as well. The results obtained in our experiments confirm the outcomes described in literature about the individuality of the frontal sinus and its feasibility in terms of precision and usability for postmortem human identification.

1. Introdução

A identificação biométrica de indivíduos refere-se ao uso de atributos físicos ou comportamentais (impressões digitais, face, íris, sinus frontais, assinatura, voz, etc.) para estabelecer suas identidades. Para que um atributo humano seja utilizado como um identificador biométrico, ele deve satisfazer alguns requisitos como: universalidade, unicidade, permanência, aceitabilidade, entre outros [1].

No caso de identificação de cadáveres há a possibilidade desses atributos físicos não estarem disponíveis. Nestes casos, partes do esqueleto do corpo humano tais como: dentes, tórax, vértebras, ombros e os sinus frontais podem ser utilizadas.

Os sinus frontais, também conhecidos como seios frontais da face, são cavidades localizadas e irregulares localizadas no osso frontal do crânio e que se comunicam com a fossa nasal através do infundibulum [2].

Diversas investigações realizadas anteriormente mostram que os padrões dos sinus frontais são altamente variáveis e únicos para cada indivíduo

[2,3,4,5] sendo, portanto, uma característica física que pode ser utilizada em sistemas biométricos forenses.

1.1. Objetivo

O objetivo do presente trabalho de mestrado é propor, implementar e avaliar um método para automatização do reconhecimento de sinus frontais para identificação humana, de modo que sistemas biométricos forenses baseados neste método sejam viáveis em termos de precisão e usabilidade.

1.2. Justificativas

Mais do que uma necessidade, a identificação post-mortem de pessoas é uma obrigação legal para a resolução de diversas questões como herança e sucessão de propriedade, cobrança de apólices de seguro e pensões, reparações e indenizações em casos de acidentes, entre outras. Além disso, a identificação rápida e precisa de um indivíduo é também uma questão humanitária, uma vez que pode abreviar o sofrimento de sua família em caso de desaparecimento ou de acidentes envolvendo dezenas ou centenas de pessoas.

Os sistemas biométricos computacionais podem ser importantes aliados no processo de identificação post-mortem de indivíduos, acelerando e facilitando o trabalho dos peritos forenses. No entanto, a Biometria aplicada à medicina legal pode apresentar sérias limitações, principalmente no que diz respeito à indisponibilidade de certas características físicas, devido ao estado de conservação precário do corpo do indivíduo que se deseja identificar.

Neste contexto, o sinus frontal é um excelente candidato à característica física a ser utilizada em sistemas biométricos para a identificação de cadáveres [2,3,4,5], não só por sua unicidade e permanência, mas também por estar localizado em uma parte da estrutura óssea muito resistente (osso frontal do crânio).

Em comparação com outras características físicas geralmente utilizadas na medicina legal, os sinus frontais podem apresentar algumas vantagens. Com relação à identificação de indivíduos baseada no formato e disposição dos dentes, muito utilizada pela medicina forense, os sinus frontais podem apresentar certa vantagem quanto à característica de permanência, uma vez que seu formato se estabiliza em torno dos 20 anos de vida do indivíduo e permanece inalterado, a não ser em casos de acidentes que ocasionem traumas no osso frontal do crânio ou em caso de algumas doenças que possam alterar seu formato. No caso do formato e disposição dos dentes, estes estão mais

sujeitos a alterações durante a vida do indivíduo, devido a doenças, extrações dentárias, restaurações odontológicas, tratamentos ortodônticos e traumas, que podem dificultar a identificação do indivíduo ao se comparar radiografias post-mortem com radiografias antemortem.

Os sinus frontais podem ser também uma ótima alternativa aos exames de DNA, uma vez que este, apesar de ser extremamente preciso, pode ser demorado, altamente custoso e estar sujeito à contaminação.

No entanto, apesar da literatura registrar diversos casos de identificação positiva de pessoas por meio dos sinus frontais [4,5,8] são raros os métodos para o reconhecimento destes que utilizam recursos computacionais para a automatização ou facilitação dos processos, o que se configura em importante justificativa para os esforços empreendidos neste trabalho.

2. Sinus Frontais

Os sinus frontais (ou seios frontais) da face estão localizados dentro do osso frontal do crânio e consistem em um par de cavidades loculadas e irregulares que se comunicam com a fossa nasal através do infundibulum [2].

A Figura 1 exibe uma radiografia anteroposterior (AP) (a) e outra em perfil (b) de um indivíduo, com as bordas dos sinus frontais no destaque.

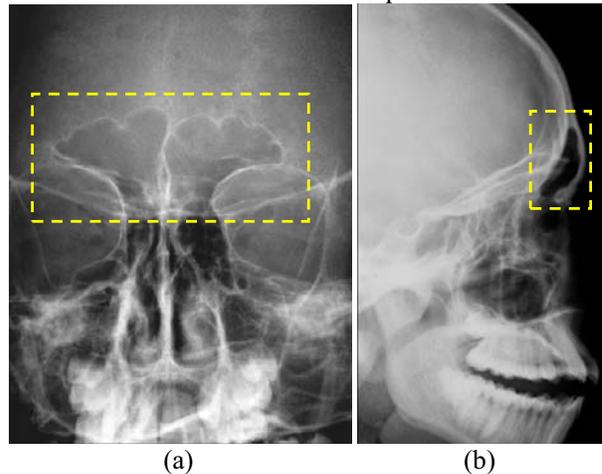


Figura 1. (a) Radiografia anteroposterior e (b) perfil com as bordas dos sinus frontais no destaque.

Os sinus frontais se desenvolvem embrionariamente de uma célula etmoidal e não são visíveis ao nascimento. Eles começam a se desenvolver a partir do segundo ano de vida e atingem seu tamanho máximo

por volta do vigésimo ano, permanecendo estáveis a partir de então [9,10].

A configuração dos sinus frontais é considerada única para cada indivíduo [2,3,4,5] e é controlada por fatores ambientais, embora a raça, o sexo e algumas doenças também afetem o seu desenvolvimento [4]. Variações dos sinus frontais foram registradas na literatura até mesmo para gêmeos monozigóticos [2,5]. A Figura 2 apresenta imagens de radiografias em incidência AP de quatro indivíduos, onde é possível observar as peculiaridades dos sinus frontais para cada um deles.

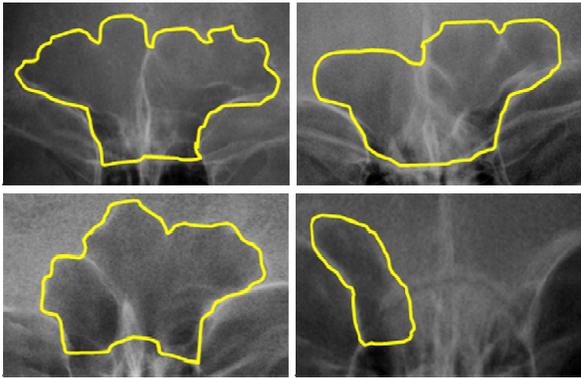


Figura 2. Imagens de radiografias de sinus frontais de quatro indivíduos, onde é possível observar as diferenças entre seus formatos.

2.1. Reconhecimento de Sinus Frontais

O reconhecimento de sinus frontais é composto por três etapas principais: (i) segmentação; (ii) extração das características e (iii) casamento.

A segmentação é o processo pelo qual, dada uma radiografia AP do crânio de um indivíduo, apenas os pontos pertencentes à borda que separa a área externa e interna dos sinus frontais são extraídos.

Na etapa de extração das características, métodos para análise de formas são utilizados para se obter informações a partir das bordas dos sinus frontais, de maneira que se possa compor um descritor para cada borda. O descritor é, em geral, um vetor de características que armazena algum tipo de medida relacionada à forma do objeto, de modo compacto, que pode ser armazenado em um banco de dados e, posteriormente, utilizado na realização do casamento.

Na etapa de casamento, os descritores extraídos dos sinus frontais são comparados de algum modo a se obter uma medida de similaridade entre eles. Esta medida pode ser obtida, por exemplo, através de uma equação matemática que exprima o grau de alinhamento entre os vetores de características. Dessa

forma, se a medida de similaridade entre duas imagens de sinus frontais estiver acima de um determinado limiar, entende-se que estas pertencem ao mesmo indivíduo (genuínas), caso contrário, consideram-se imagens pertencentes a indivíduos diferentes (impostores).

2.2. Desafios no Reconhecimento de Sinus Frontais

Os maiores desafios no reconhecimento de sinus frontais estão concentrados na etapa de segmentação, na qual os pontos da borda dos sinus frontais devem ser extraídos a partir de uma radiografia AP do crânio. Esta etapa é considerada complexa uma vez que a detecção das bordas dos sinus frontais pode ser dificultada pela presença de ruídos na imagem, como os descritos a seguir.

2.2.1. Ruídos Causados pela Projeção de Outras Estruturas Craniais

No momento em que uma radiografia AP do crânio é feita, as estruturas de todo o crânio, que estão dispostas em três dimensões, são projetadas em um filme de duas dimensões.

Uma estrutura da parte traseira do crânio, denominada lâmina interna, pode ser projetada durante a geração da radiografia e aparecer próxima aos sinus frontais ou até mesmo atravessando-os de forma longitudinal.

O mesmo acontece com três outras estruturas do crânio: a crista gali e a crista frontal interna, que atravessam os sinus frontais de forma latitudinal, e as paredes superiores das órbitas oculares, que podem atravessar os sinus frontais pelos dois lados. No caso das paredes, estas podem ajudar a delimitar os sinus frontais, pois suas bordas geralmente coincidem com as bordas laterais inferiores dos sinus. No entanto, como é possível observar na Figura 3, a borda direita inferior dos sinus frontais invade o interior da órbita ocular de modo que a parede superior da órbita direita cria a impressão de uma falsa borda dos sinus.

A Figura 3 apresenta um sinus frontal com suas bordas e com as estruturas citadas demarcadas.

2.2.2. Ruídos Durante a Geração da Radiografia

A geração da radiografia no aparelho de Raios-X pode sofrer interferências que prejudicam a visualização dos sinus frontais, por diversas razões, como por exemplo, a falta de imobilização do paciente ou ainda por questões estruturais do próprio aparelho.

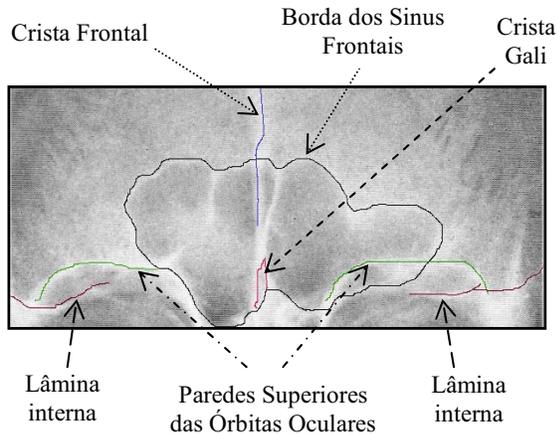


Figura 3. Sinus frontal com algumas estruturas do crânio em destaque e com suas bordas demarcadas.

No caso específico do banco de imagens de sinus frontais utilizado neste trabalho, todas as radiografias apresentam uma faixa vertical no centro da parte superior do crânio, sobrepondo-se aos sinus frontais. Esta faixa é causada por um suporte do aparelho de raios-X, que tem por objetivo centralizar e imobilizar o crânio do paciente. A Figura 4 exibe a imagem digitalizada a partir de uma das radiografias do banco de imagens citado, na qual é possível observar a faixa vertical sobrepondo-se ao sinus frontal, dificultando a definição de parte da borda superior.

2.2.3. Ruídos Causados por Secreção na Área Interna dos Sinus Frontais

Por se tratarem de câmaras de ar, os sinus frontais devem apresentar na radiografia, em sua região interna, níveis de cinza menores (mais escuros) do que a região externa adjacente. Este contraste entre as regiões interna e externa aos sinus frontais contribui para a determinação precisa dos pontos de suas bordas.

No entanto, devido à comunicação existente com a fossa nasal [2], os sinus frontais muitas vezes armazenam secreções que causam na radiografia um clareamento de sua região interna. Caso este clareamento aconteça próximo à região de fronteira entre as regiões interna e externa, a detecção dos pontos da borda pode ser dificultada ou comprometida.

A Figura 5 exibe uma imagem na qual não é possível observar parte da bordas do sinus frontal devido a um clareamento na sua área interna, causado por excesso de secreção. Observe no destaque uma pequena porção da borda na qual a visualização de seus pontos fica prejudicada pelo acúmulo de secreção na região de fronteira.

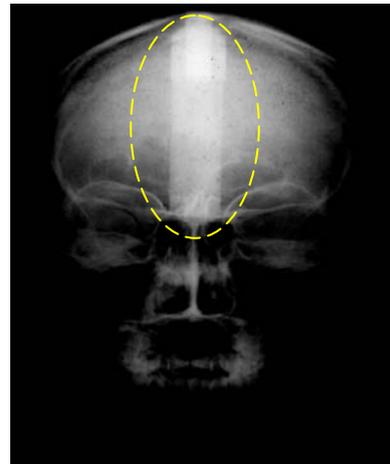


Figura 4. Radiografia AP na qual é possível observar uma interferência causada pelo suporte do aparelho de raios-X.

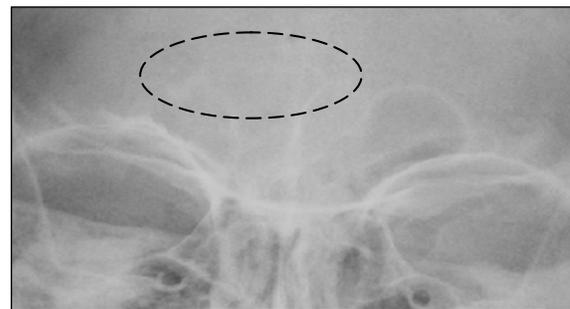


Figura 5. Imagem na qual não é possível observar parte da borda do sinus frontal devido a um clareamento na sua área interna, causado por excesso de secreção.

3. Material

Nesta seção são apresentados o banco de imagens e o *ground truth* utilizados nos experimentos para a comprovação da efetividade do método proposto no presente trabalho.

3.1. Banco de Imagens

As técnicas para segmentação e reconhecimento de sinus frontais foram avaliadas utilizando-se um banco contendo 90 imagens de radiografias AP de 29 indivíduos com mais de 20 anos de idade. Nesse conjunto de radiografias há pelo menos duas imagens de radiografias para cada indivíduo.

As imagens encontram-se na mesma escala e orientação, uma vez que o aparelho de raios-X utilizado na obtenção das radiografias contava com um

suporte para centralização e imobilização do crânio do paciente

As radiografias foram obtidas dos arquivos de radiografias do Denver Growth Study, mantidos pela Faculdade de Odontologia da Universidade de Michigan, localizada em Ann Arbor, Michigan, EUA.

3.2. Ground Truth

Com o objetivo de prover uma avaliação consistente do método de segmentação proposto, realizou-se, sob a supervisão de um profissional médico da área de Radiologia do Hospital Estadual de Bauru, a segmentação manual dos sinus frontais do banco de imagens utilizado. Ao final do processo obteve-se um banco de bordas “verdadeiras” dos sinus frontais, o *ground truth*, com o qual é possível realizar a avaliação supervisionada do método de segmentação.

Para a segmentação manual, foi utilizada a ferramenta “paint brush” do software de edição de imagens Serif Photoplus [11]. Sobre uma nova camada na imagem original, a borda foi manualmente traçada com a utilização do mouse e os pontos da borda puderam ser extraídos diretamente da camada superior.

4. Métodos

Nesta seção, é apresentado o método proposto para o reconhecimento de sinus frontais, composto pelos métodos Transformada Imagem-Floresta Diferencial (DIFT) e *Shape Context*, para as etapas de segmentação e extração de características.

4.1. Método da Transformada Imagem-Floresta Diferencial

O método baseado na Transformada Imagem-Floresta Diferencial (DIFT - Differential Image-Foresting Transform) para segmentação de imagens foi proposto por Falcão e Bergo [6]. Esse método reduz o problema de segmentação de imagens ao cálculo de florestas de caminhos de custo mínimo no grafo derivado da imagem. A busca por caminhos de custo mínimo é restringida a caminhos que se originam em um conjunto de pixels iniciais, denominados sementes [6,12].

A função que determina o custo do caminho de um vértice do grafo até outro é a diferença entre os níveis de cinza dos pixels que são representados pelos vértices. Dessa forma, pixels com níveis próximos de cinza terão custos menores de caminho e tenderão a se conectar ao caminho com o qual tenham maior grau de similaridade.

Portanto, com a utilização desse algoritmo, a intervenção do usuário durante a segmentação da imagem é reduzida à escolha de algumas sementes dentro e fora da área de interesse. As sementes competem por vértices no grafo a cada iteração e geram, ao final, regiões internas e externas à área de interesse cujos pixels terminais delimitam o objeto [12].

A Figura 6(a) apresenta um grafo de uma imagem bidimensional em tons de cinza, com vizinhança 4. Os números correspondem às intensidades $I(p)$ dos pixels e os círculos maiores denotam duas sementes: uma interna ao objeto que se deseja segmentar (um retângulo no centro da imagem) e outra externa ao objeto. A Figura 6(b) mostra uma floresta de caminhos de custo mínimo para o grafo da Figura 6(a), usando como função de custo, $C(p,q) = I(q) - I(p)$, onde $I(p)$ é a intensidade de um pixel e $I(q)$ é a intensidade do seu pixel predecessor. Os números mostrados na Figura 6(b) são os valores de custo.

A segmentação do retângulo no centro da imagem é obtida pela árvore enraizada na semente interna. As setas da Figura 6(b) apontam para o predecessor do vértice no caminho ótimo.

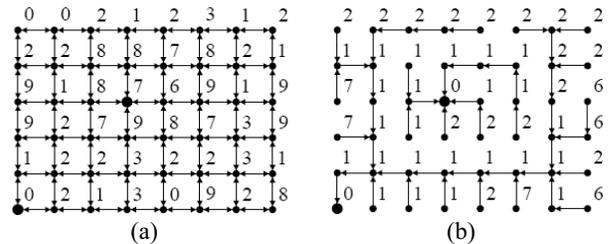


Figura 6. (a) Grafo de uma imagem 2D em tons de cinza com vizinhança 4. (b) Floresta de caminhos de custo mínimo para o grafo da Figura 6(a) [12].

Caso o resultado da segmentação não seja ideal, o usuário pode acrescentar mais sementes dentro ou fora da área de interesse e executar novamente o algoritmo, que ao invés de recalculer uma nova floresta de caminhos ótimos toda vez que o conjunto de sementes é alterado, somente atualiza o resultado da segmentação de forma diferencial, em tempo proporcional ao número de vértices nas regiões modificadas da floresta [12].

4.2. Método Shape Context

O Contexto da Forma (*Shape Context*) é um descritor de formas proposto por Belongie et al. [7]. Dado um ponto p pertencente a uma borda, esse descritor captura a distribuição polar-logarítmica dos

demais pontos da borda em relação a p , proporcionando uma caracterização global e discriminativa do contexto da forma da borda. Desse modo, pontos correspondentes em duas bordas semelhantes, apresentam contextos de forma semelhantes [7].

A Figura 7(a) apresenta a imagem de uma borda de sinus frontal, na qual se ilustra o cálculo do histograma polar-logarítmico de um dos pontos da borda. Para tanto, conta-se o número de pontos da borda em cada compartimento. A Figura 7(b) ilustra o histograma completo do ponto da borda selecionado na Figura 7(a).

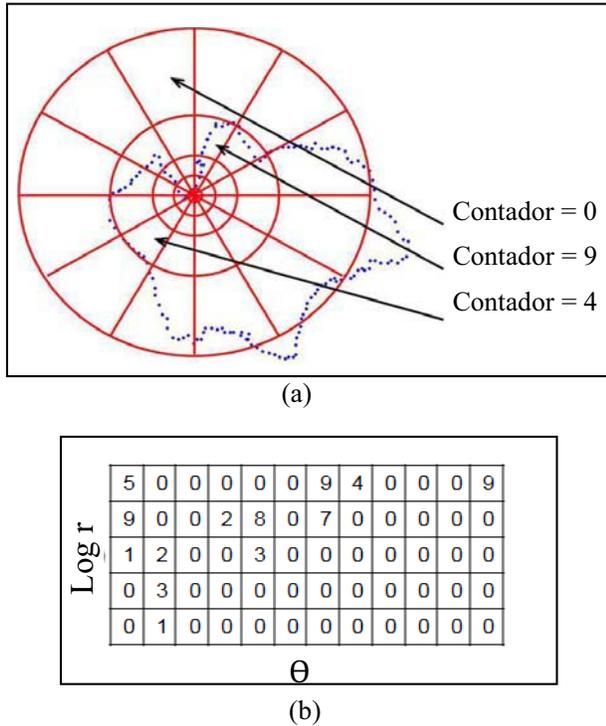


Figura 7. (a) Ilustração do cálculo do histograma polar-logarítmico de um dos pontos da borda de um sinus frontal; (b) Histograma computado para o ponto da borda selecionado em (a).

A Figura 8 ilustra a comparação entre histogramas de três pontos de bordas de duas imagens obtidas em momentos distintos do sinus frontal de um indivíduo. Note que os histogramas dos dois pontos das bordas localizados em regiões semelhantes apresentam histogramas semelhantes. Note também que o terceiro ponto da borda localizado à direita, em uma região bastante diferente das anteriores, apresenta um histograma completamente diferente dos outros dois pontos. Para facilitar a comparação entre os histogramas, seus valores foram substituídos por níveis

de cinza: quanto mais escura a cor da posição no histograma, maior é a ocorrência de pontos da borda naquele ângulo e distância.

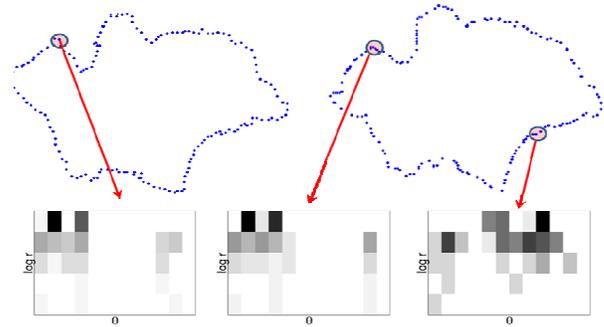


Figura 8. Comparação entre histogramas de três pontos distintos de duas bordas obtidas dos sinus frontais do mesmo indivíduo.

Para o método *Shape Context*, o casamento entre dois sinus frontais é feito através do cálculo da similaridade entre eles. A similaridade é determinada pelo custo do melhor alinhamento obtido entre os dois sinus, utilizando os descritores dos contextos de forma para cada um dos pontos pertencentes às suas bordas. Quanto menor o custo de alinhamento, maior o grau de similaridade entre os sinus frontais.

Dados dois pontos p_i e p_j , pertencentes a cada uma das bordas sendo comparadas, o custo de casamento C_{ij} entre os pontos p_i e p_j , é dado pela equação (1), onde $h_i(k)$ e $h_j(k)$ denotam os histogramas normalizados dos pontos p_i e p_j , respectivamente, e K representa a quantidade de compartimentos do histograma [7]. Como os contextos das formas associados a cada ponto são distribuições representadas por histogramas, é natural utilizar-se o teste estatístico Chi-quadrado.

$$C_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \frac{[h_i(k) - h_j(k)]^2}{h_i(k) + h_j(k)} \quad (1)$$

4.3. Fases de um Sistema Biométrico Baseado no Método Proposto

Os sistemas biométricos são compostos de duas fases principais: registro e reconhecimento. Desse modo, as duas fases do sistema biométrico baseado no método proposto, são apresentadas a seguir.

4.3.1. Fase de Registro

O objetivo principal da fase de registro é obter descritores de sinus frontais a partir de imagens digitais

de radiografias AP antemortem de indivíduos que se deseja identificar, de forma que possam ser armazenados, de forma compacta, em um banco de dados e, posteriormente, na fase de reconhecimento, possam ser submetidos a um processo de análise de similaridade contra sinus frontais obtidos de radiografias AP post-mortem.

A Figura 9 exibe uma visão geral da fase de registro de um sistema biométrico baseado no método proposto.

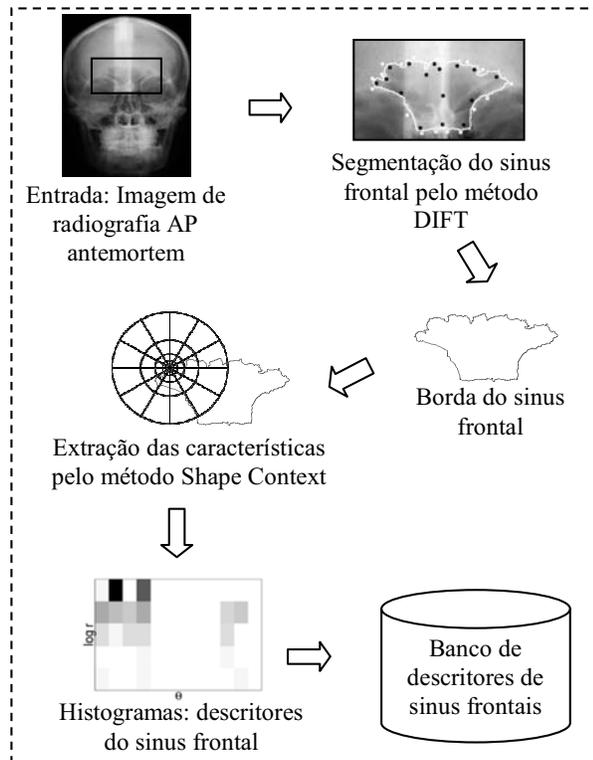


Figura 9. Fase de registro de um sistema biométrico baseado no método proposto.

As etapas que compõem a fase de registro são:

- 1. Entrada de dados:** São apresentadas ao sistema, imagens digitais de radiografias AP antemortem de indivíduos que se deseja cadastrar.
- 2. Segmentação:** Os sinus frontais presentes nas imagens das radiografias são segmentados utilizando-se o método da Transformada Imagem-Floresta Diferencial (DIFT). Ao final do processo de segmentação, imagens binárias contendo apenas as bordas dos sinus frontais são obtidas e submetidas à extração de características.
- 3. Extração de características:** As características das bordas dos sinus frontais segmentados são

extraídas por meio do método *Shape Context* para análise de formas. O processo de extração resulta em um histograma polar-logarítmico para cada um dos pontos das bordas dos sinus frontais.

4. Armazenagem na Base de Dados: Os histogramas, que são os descritores dos sinus frontais para o método *Shape Context*, são armazenados em um banco de dados (de templates) para serem utilizados na fase de reconhecimento.

4.3.2. Fase de Reconhecimento

Na fase de reconhecimento, a imagem digital de uma radiografia AP post-mortem de um indivíduo (imagem de consulta) é apresentada ao sistema biométrico a fim de se determinar a identidade deste, através do cálculo de similaridade dos descritores de seu sinus frontal em relação aos descritores dos sinus frontais armazenados em um banco de dados na fase de registro.

A Figura 10 exibe uma visão geral da fase de reconhecimento de um sistema biométrico baseado no método proposto.

As etapas que compõem a fase de reconhecimento são:

- 1. Entrada de dados:** A entrada do sistema de reconhecimento de sinus frontais é uma imagem de uma radiografia AP, denominada imagem de consulta. A imagem de consulta é apresentada ao sistema e os descritores do sinus frontal são obtidos de modo idêntico ao descrito na fase de registro.
 - 2. Casamento:** Os graus de similaridade entre os descritores do sinus frontal de consulta e todos os descritores dos sinus frontais armazenados no banco de dados (os *templates*) são obtidos através da equação (1).
 - 3. Decisão:** Se o sistema biométrico estiver operando no modo de autenticação, ou seja, se existir uma hipótese prévia para a identificação do cadáver, o sistema aceitará ou rejeitará a identidade presumida, dependendo do valor do limiar estabelecido para o grau de similaridade entre o sinus frontal de consulta e os templates.
- De outro modo, se o sistema biométrico estiver operando no modo de identificação, será retornada uma lista ordenada contendo as identidades associadas aos m templates do banco de dados que apresentam os maiores graus de similaridade com o sinus frontal de consulta.

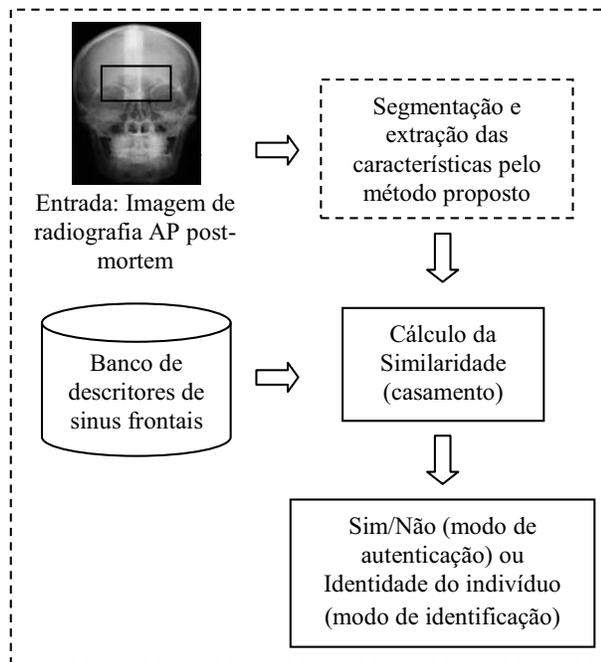


Figura 10. Fase de reconhecimento para o método proposto.

4.4. Avaliação do Método Proposto

Para realizar uma avaliação de desempenho consistente do método proposto para reconhecimento de sinus frontais, além dos experimentos realizados com os métodos de segmentação de imagens e análise de formas que o compõem (DIFT e *Shape Context*), foram realizados experimentos com outros métodos de segmentação e análise de formas.

Além do método manual de segmentação de imagens, o método *Watershed* [13] foi utilizado para fins de comparação de desempenho com o método DIFT, por se tratar de um método amplamente utilizado para a segmentação de diversos tipos de imagens, inclusive de imagens médicas. No entanto, devido aos ruídos apresentados nas imagens de sinus frontais, descritos anteriormente, o método *Watershed* não obteve resultados satisfatórios sendo, portanto, descartado.

Portanto, o desempenho do método semi-automático de segmentação dos sinus frontais baseado na DIFT pôde ser avaliado quantitativamente por meio de comparações com a segmentação manual (o *ground truth*).

Os métodos de análise de formas escolhidos para fins de comparação com o método *Shape Context* foram: (i) método de análise por descritores geométricos, proposto por Marana et al. [14] e (ii) método de análise por estatísticas dos ângulos dos raios

(BAS), proposto por Arica e Vural [15]. Os dois métodos, assim como o método baseado no contexto da forma, foram implementados em Matlab [16].

Os experimentos realizados com estes métodos seguiram as mesmas etapas de registro e de reconhecimento descritas nas seções 4.3.1 e 4.3.2, respectivamente.

Para cada método de análise de formas, foram utilizadas como entrada as bordas dos sinus frontais do banco de imagens, segmentadas pelo método manual, com o auxílio de um software gráfico de propósito geral e pelo método DIFT, por meio do software Mflow [17]. O Mflow apresenta uma implementação deste método que permite a marcação por parte do usuário de sementes internas e externas à região de interesse. Após a definição das sementes, executa-se o método DIFT e caso a segmentação não esteja satisfatória, é possível determinar novas sementes externas ou internas e executar o software novamente (de modo incremental), até que uma segmentação considerada adequada seja obtida.

Após a obtenção dos descritores por meio dos três métodos de análise de formas utilizados para as bordas dos sinus frontais segmentados manualmente e pelo método DIFT, foram realizados casamentos entre estes descritores a fim de se obter os graus de similaridade entre todos eles. Dessa forma, nove experimentos foram realizados.

Após a realização de cada experimento foram calculadas as taxas de erro igual (EER) e de recuperação correta (CRR). Desse modo, foi possível analisar, a partir de diversos cenários, o desempenho do método proposto para reconhecimento dos sinus frontais utilizando-se a transformada imagem-floresta e os descritores do contexto da forma (*Shape Context*), comparativamente à segmentação manual (*ground truth*) e com os descritores de formas alternativos.

5. Resultados Experimentais

Nesta seção são apresentados os resultados dos experimentos realizados na etapa de segmentação e os resultados gerais para os métodos de reconhecimento de sinus frontais, compostos pela combinação dos métodos de segmentação com os métodos de análise de formas para a extração das características.

5.1. Segmentação de Sinus Frontais

A avaliação das segmentações dos sinus frontais pelo método DIFT foi realizada de duas maneiras: (i) análise qualitativa, por meio de sobreposição com as segmentações manuais obtidas com a supervisão de um

profissional médico da área de Radiologia; e (ii) análise quantitativa, por meio do cálculo da similaridade entre as segmentações obtidas pelo método DIFT e pelo método manual, por meio dos métodos de análise de formas implementados (*Shape Context*, BAS e Medidas Geométricas) e a subsequente geração das taxas EER e CRR.

Na análise qualitativa, o profissional médico da área de Radiologia que supervisionou a segmentação manual atestou que as segmentações obtidas utilizando-se o método DIFT estavam muito próximas do ideal, pois não foi possível notar diferenças significativas em relação às segmentações manuais, como mostra a Figura 11.

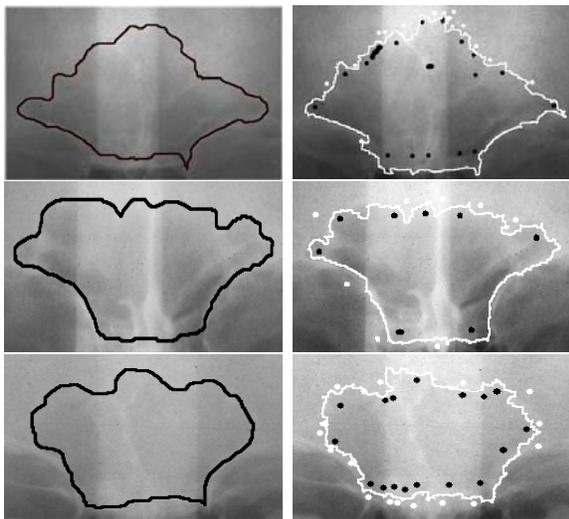


Figura 11. Segmentações de 3 sinus frontais, utilizando o método manual (à esquerda) e por DIFT (à direita). Os pontos pretos e brancos representam, respectivamente, as sementes internas e externas definidas pelo usuário.

Os resultados da análise quantitativa para o casamento entre as bordas segmentadas pelo método DIFT versus o método manual (*ground truth*) por meio dos três métodos de análise de formas, estão mostrados na Tabela 1. As taxas de erro igual (EER) e de recuperação correta (CRR mostram o alto grau de similaridade entre as bordas segmentadas pelo método DIFT e as bordas segmentadas manualmente (*ground truth*).

O profissional médico da área de Radiologia, que supervisionou a segmentação manual para obtenção do *ground truth* realizou também algumas segmentações de sinus frontais manualmente, com o auxílio de um software gráfico de propósito geral (Serif Photo Plus) e utilizando o software Mflow. Desse modo foi possível obter o relato da experiência do usuário.

O profissional atestou que se sentiu muito mais confortável em realizar as segmentações pelo método DIFT do que pelo método manual uma vez que no método DIFT há apenas a necessidade de se selecionar alguns pontos dentro e fora da área de interesse.

5.2. Reconhecimento de Sinus Frontais

Para a avaliação do desempenho dos métodos para reconhecimento de sinus frontais implementados, foram realizados nove experimentos. Para cada método de análise de formas, os seguintes casamentos entre os bancos de bordas foram feitos: (i) casamento e cálculo da similaridade entre as bordas segmentadas manualmente; (ii) casamento e cálculo da similaridade entre as bordas segmentadas pelo método DIFT e (iii) casamento e cálculo da similaridade entre as bordas segmentadas manualmente versus as bordas segmentadas pelo método DIFT. Os casamentos entre as bordas dos sinus frontais dos indivíduos foram feitos no modo de identificação, ou seja, cada borda foi comparada com todas as bordas restantes do banco, calculando-se a similaridade para cada casamento. Ao final do processo foram obtidas as taxas de erro para os casamentos entre genuínos e impostores e calcular a taxa de erro igual (EER- Equal Error Rate) e a taxa de recuperações corretas (CRR – Correct Retrievals Rate).

Os resultados obtidos para cada método de reconhecimento de sinus frontais estão descritos na Tabela 1, onde estão destacados os resultados para o método de proposto no presente trabalho.

Tabela 1. Resultados dos experimentos realizados para avaliar os métodos de reconhecimento de sinus frontais.

Descritores da Forma	Método de Segmentação	EER	CRR Top 1
Geométrico	Manual	12,22%	36,7%
	DIFT	12,63%	26,7%
	Manual vs. DIFT	12,39%	52,22%
Shape Context	Manual	3,85%	100%
	DIFT	3,73%	95,5%
	Manual vs. DIFT	7,37%	95,5%
BAS	Manual	8,28%	91,1%
	DIFT	8,81%	83,33%
	Manual vs. DIFT	10,52%	75,6%

6. Conclusões

O método proposto para reconhecimento de sinus frontais, que combina os métodos DIFT e *Shape Context* para segmentação e extração das características obteve a melhor taxa de erro igual (EER = 3,73%) entre todos os outros métodos para reconhecimento de sinus frontais. Porém, apesar do método proposto ter obtido uma taxa de recuperações corretas muito boa (CRR = 95,5%), ele ficou atrás do método que combina a segmentação manual com o método *Shape Context* (CRR = 100%).

No entanto, a segmentação manual com auxílio de software exige esforço e destreza muito maiores por parte do usuário do que o método DIFT.

Sendo assim, uma vez que a segmentação manual foi realizada neste trabalho por um usuário com boa destreza manual, é lícito acreditar que usuários com pouca experiência de uso de computadores ou com pouca destreza manual venham a obter melhores resultados através da segmentação pelo método DIFT do que pela segmentação manual.

Desse modo, os resultados experimentais obtidos permitem concluir que o método proposto para o reconhecimento de sinus frontais, que combina a segmentação pelo método DIFT e a extração de características pelo método *Shape Context* é adequado para a identificação forense de indivíduos, baseada nas características de sinus frontais obtidos a partir de radiografias AP antemortem e post-mortem. Além disso, estes resultados corroboram os descritos na literatura sobre a viabilidade do uso das informações dos sinus frontais como uma alternativa para a identificação humana post-mortem em aplicações forenses.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Dra. S. L. Brooks e o Dr. J. McNamara, da Universidade de Michigan, EUA, pelas imagens de radiografias de sinus frontais, e a Dra. Flavia Casedei, do Hospital Estadual de Bauru, por sua colaboração durante a segmentação manual dos sinus frontais.

Referências

- [1] JAIN, A. K.; ROSS, A.; PRABHAKAR, S. **An Introduction to Biometric Recognition**. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics. Vol. 14. No. 1, pp. 4-20, 2004.
- [2] SAUNDERS, W.B. **Dorland's Illustrated Medical Dictionary**. 25th ed.. Philadelphia: 1974.

[3] BROGDON, B. G. **Forensic Radiology**. CRC Press, 1998.

[4] KIRK, N. J.; WOOD, R. E.; GOLDSTEIN, M. **Skeletal Identification Using the Frontal Sinus Region: A Retrospective Study of 39 Cases**. J Forensic Sci 2002, 47(2):318-323.

[5] SCHULLER, A. **A note on the identification of skulls by x-ray pictures of the frontal sinuses**. Med. J. Australia, 1943, 1:554-7.

[6] FALCÃO, A. X.; BERGO, F. P. G. **Interactive volume segmentation with differential image foresting transforms**. IEEE Trans. on Medical Imaging, 23(9):1100-1108, 2004.

[7] BELONGIE, Serge; MALIK, Jitendra; PUZICHA, Jan. **Shape context: A new descriptor for shape matching and object recognition**. In NIPS, p. 831-837. November 2000.

[8] RIBEIRO, F. A. Q. **Standardized measurements of radiographic films of the frontal sinuses: An aid to identifying unknown persons**. Ear, Nose and Throat Journal, Jan 2000, v79, p26.

[9] HAJEK, M. **Normal anatomy of the frontal sinus**. In: Pathology and Treatment of the Inflammatory Diseases of the Nasal Accessory Sinuses. St. Louis: C.V. Mosby, 1926:35-43.

[10] SIEUR; JACOB, O. **Des sinus frontaux**. In: Recherches Anatomiques, Cliniques et Operatoires sur les Fosses Nasales et Leur Sinus. Paris: J. Rueff, 1901:83-91.

[11] SERIF Photo Plus. **Software**. Disponível em: <http://www.freerifsoftware.com/>.

[12] MIRANDA, P. A. V. **Segmentação de Imagens pela Transformada Imagem-Floresta**. Dissertação de Mestrado. IC-UNICAMP, 2006.

[13] VINCENT, L.; SOILLE, P. **Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations**. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13(6):583-598. 1991.

[14] MARANA, A. N.; OURA, D. Y.; YAMAMOTO, T.; FALGUERA, F. P. S.; FALGUERA, J. R. **Towards an Automatic Frontal Sinus Identification System**. Anais do II Workshop de Visão Computacional, p. 93-98. USP - São Carlos, 2006.

[15] ARICA, Nafiz; VURAL, Fatos T. Y. **BAS: a perceptual shape descriptor based on the beam angle statistics**. Pattern Recognition Letters. Vol. 24. Number 9. p. 1627-1639(13). Elsevier. 2003.

[16] MATLAB 7.0. **Software**. Disponível em: http://www.mathworks.com/products/featured/embeddedmatlab/index.html?s_cid=HP_MI_EmbeddedMATLAB.

[17] MFLOW. **Software**. Disponível em: <http://www.ic.unicamp.br/~afalcao/download/gif.tar.gz>.