

# DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE CENTROS DE OSSIFICAÇÃO EM IMAGENS DE RADIOGRAFIAS CARPAIS DIGITALIZADAS

T. B. Santana e M. F. Angelo

Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Feira de Santana, Brasil  
e-mail: thayanebs@comp.uefs.br

**Resumo:** Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta para a detecção automática das falanges II e III e dos metacárpais II, III e IV em radiografias da mão e do punho. Inicialmente, o conhecimento a priori da anatomia da mão foi utilizado para extrair as regiões de interesse da imagem. Em seguida foram implementadas técnicas de realce e detecção de bordas para a localização e o reconhecimento de pontos sobre os centros de ossificação. Um conjunto de 73 imagens foi utilizado durante os testes e a detecção de bordas por derivadas parciais apresentou os melhores resultados, onde a maioria dos pontos detectados ficaram posicionados em um raio de até 3 milímetros da posição correta.

**Palavras-chave:** Radiografia Carpal, Idade Óssea, Centros de Ossificação, Processamento Digital de Imagens.

**Abstract:** This paper presents the development of a tool for the automatic detection of the phalanges II and III and metacarpals II, III and IV on radiographs of the hand and wrist. Initially, a priori knowledge of the anatomy of the hand was used to extract the regions of interest of the image. Then enhancement techniques and edge detection for localization and recognition of points on the ossification centers were implemented. A set of 73 images was used during the tests and edge detection by partial derivatives showed the best results, where most of the detected points were positioned at a radius of up to 3 mm from the correct position.

**Keywords:** Carpal radiography, Bone age, Ossification centers, Digital Image Processing.

## Introdução

O índice da maturação do esqueleto, também conhecido como idade óssea, é uma informação de grande importância na área médica e também na ortodontia pediátrica [1].

A região da mão e do punho tem sido amplamente utilizada para avaliar a idade óssea de um indivíduo, pois essa região apresenta um grande número de centros de ossificação dispostos em uma região relativamente pequena, ausência de órgãos vitais na região exposta aos raios ionizantes, além de uma configuração planar dos ossos que facilita a análise de sua radiografia, conhecida como radiografia carpal [1,2].

Dentre os principais métodos para a estimativa de idade óssea através de radiografia carpal, Moraes *et al.*

(2003) aponta o método Eklof & Ringertz (ER) como aquele que apresenta o mais alto grau de correlação com as crianças brasileiras e menor complexidade para o processamento computacional [3]. Olivete (2005) ainda propôs uma simplificação desse método, obtendo bons resultados com a utilização de uma quantidade reduzida de centros de ossificação para a análise da idade óssea [2,4].

Neste trabalho será apresentado o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a detecção dos centros de ossificação utilizados no cálculo da idade óssea do método ER. O principal objetivo é implementar técnicas clássicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) em conjunto com métodos propostos na literatura [5-7] para localizar automaticamente determinados centros de ossificação presentes na imagem radiográfica.

## Materiais e métodos

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em quatro fases: a. Extração das regiões de interesse da imagem; b. Pré-processamento; c. Detecção de bordas e d. Extração de informação da imagem, de acordo com a Figura 1.

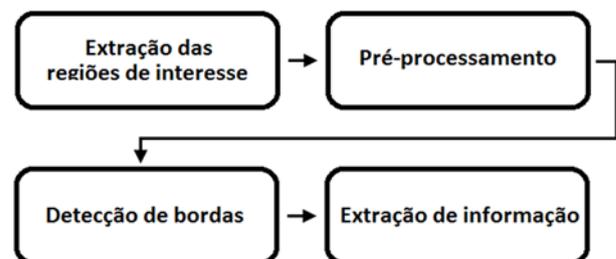


Figura 1: Metodologia empregada no desenvolvimento da ferramenta.

Na primeira fase foram aplicadas adaptações das técnicas propostas por Zhang, Gertych, e Liu (2007) [5] e Giordano *et al.* (2010) [6] para extrair as regiões de interesse contendo os centros de ossificação utilizados no método ER (Figura 2). A segunda fase consistiu na aplicação de técnicas de realce baseadas no Laplaciano e na equalização do histograma. Na fase de detecção de bordas foi utilizado o detector Canny e o cálculo das derivadas parciais para identificar os centros de ossificação em cada região de interesse. Por fim, na fase de extração de informação foi utilizada a equação

analítica da reta para determinar as extremidades de cada osso encontrado.

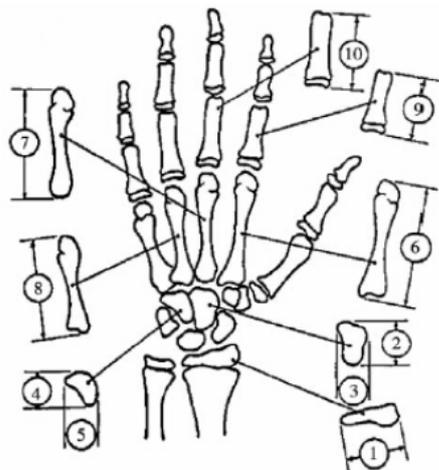


Figura 2: Centros de ossificação usados no método ER – (1) largura do rádio, (2) comprimento e (3) largura do capitato, (4) comprimento e (5) largura do hamato, (6) comprimento do metacárpico II, (7) comprimento do metacárpico III, (8) comprimento do metacárpico IV, (9) comprimento da falange proximal II e (10) comprimento da falange proximal III.

A ferramenta foi implementada em Java e as radiografias capais digitalizadas utilizadas para a coleta de resultados foram imagens de 8 bits com resolução de 72 dpi (*dot per inch*). Estas imagens são provenientes de uma base de dados online criada por pesquisadores da USP-São Carlos, a qual constitui-se como uma ferramenta colaborativa que visa auxiliar pesquisas na área de estimativa de idade óssea com a disponibilização de imagens radiográficas [8].

A seguir serão apresentadas, detalhadamente, todas as fases realizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

**Extração das regiões de interesse** – Considerando-se o método ER, foram estabelecidas três regiões de interesse: a região das falanges, a dos metacárpicos e a do carpo.

A imagem resultante da limiarização apresenta a silhueta da mão, mas necessita de correções, como remoção de pontos aleatórios e ruído de borda proveniente do processo de digitalização. Para a correção da imagem foi utilizada a operação morfológica de fechamento, que combina os operadores dilatação e erosão (Figura 3(a)).

As retas que cortam a imagem identificam os pontos que definem as regiões de interesse de acordo com as informações referente às posições do dedo médio e polegar, bem como o local onde o punho se alarga para formar a palma da mão (Figura 3(b)).

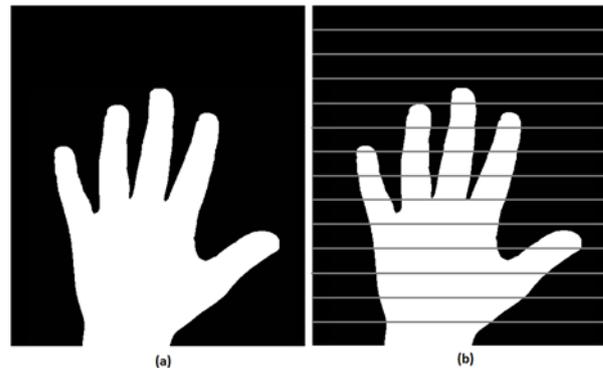


Figura 3: (a) Imagem ajustada pelos operadores morfológico; (b) imagem cortada pelas retas que buscam os pontos delimitadores das regiões de interesse.

**Pré-processamento da imagem** – Foram implementadas duas técnicas de melhoramento para aumentar a qualidade da imagem com o aumento do contraste da imagem: realce utilizando o operador Laplaciano e equalização do histograma.

O algoritmo de realce baseado no Laplaciano consiste na soma aritmética da imagem original com a magnitude do gradiente, de acordo com a Equação 1 [9]. Com isso, a imagem final apresenta bordas mais acentuadas que a imagem inicial.

$$I_m(x, y) = I_o(x, y) + \nabla^2 I_o(x, y) \quad (1)$$

Onde  $I_m(x, y)$  é a imagem melhorada,  $I_o(x, y)$  é a imagem original e  $\nabla^2 I_o(x, y)$  é o gradiente da imagem original, que destaca as regiões com variações bruscas de intensidade.

A segunda técnica de melhoramento consiste na equalização individualizada das regiões de interesse, já que cada uma delas apresenta características próprias de luminosidade. Em geral, a região das falanges são mais escuras que a região do carpo e a região dos metacárpicos apresentam baixo contraste.

**Deteção de bordas** – O detector Canny é baseado na implementação digital da função Gaussiana e é dividido em quatro etapas. Os passos do algoritmo desenvolvido por Canny são: (1) atenuação do ruído através da convolução com o filtro da função Gaussiana, minimizando a taxa de erro da detecção; (2) identificação das bordas através da convolução com o filtro da primeira derivada da Gaussiana; (3) supressão não-máxima, que visa afinar as bordas identificadas, atendendo ao requisito da boa localização e, por fim a (4) histerese, que é responsável por unir as verdadeiras bordas e eliminar as falsas, atendendo ao requisito de uma detecção correta [5, 7, 9].

**Extração de informação** – Este processo consiste em localizar o centro de ossificação que será medido e, em seguida, calcular a distância entre suas extremidades.

Os centros de ossificação são localizados ao percorrer a imagem horizontalmente com duas retas próximas a região central. O par de pontos encontrados

ao detectar um objeto são usados para encontrar seu ponto médio e, a partir deles, calcular a equação analítica da reta que segue a direção do centro de ossificação, como mostra a Figura 4.

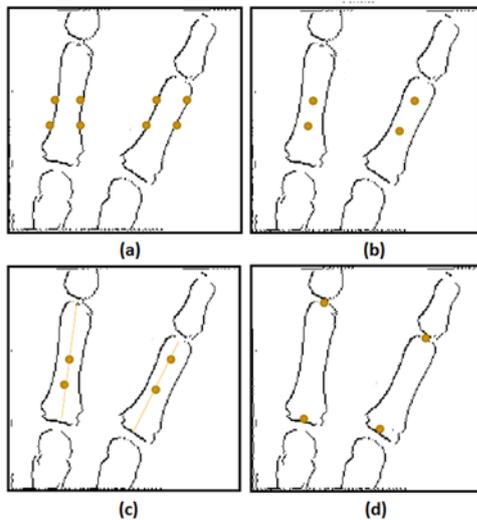


Figura 4: Algoritmo de reconhecimento e extração de informação para ossos alongados: (a) Pontos de localização; (b) ponto médio do osso; (c) Reta que segue a direção do centro de ossificação; (d) limites do centro de ossificação encontrados.

Conhecendo os pontos que marcam o início e o fim do osso, é possível calcular a distância entre eles e obter o comprimento dos centros de ossificação alongados, em *pixels*. Usando a resolução da imagem, esse valor foi convertido para milímetros (*mm*).

O processo de medição do comprimento dos ossos do carpo foi baseado em coordenadas polares, onde a origem do sistema de coordenadas é fixado no capitato e a localização dos demais ossos é estimada a partir desse osso.

## Resultados

Os testes para a validação da ferramenta foram realizados com um conjunto de 73 imagens. Os testes consistiram na avaliação da distância entre a localização dos pontos detectados automaticamente pela ferramenta em relação aos pontos marcados por um especialista.

Foram realizadas duas massas de teste, a primeira utilizando a detecção de bordas Canny e a segunda, a detecção de bordas por derivadas parciais, cujos resultados são apresentados nos gráficos das Figuras 5 e 6.

Nos gráficos destas figuras, o eixo x representa cada ponto posicionado sobre os extremos das falanges II e III e metacárpicos II, III e IV. E o eixo y representa a média percentual das imagens onde a distância entre o ponto marcado pelo especialista e o ponto localizado pela ferramenta é menor ou igual a 3mm, pois nas tabelas do método ER, a cada ano de desenvolvimento ósseo há uma variação de aproximadamente 3mm no comprimento dos ossos alongados durante os primeiros

anos de vida do indivíduo [2].

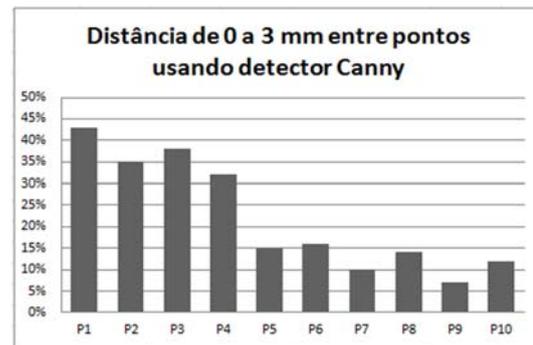


Figura 5: Resultados dos testes realizados com detector Canny.

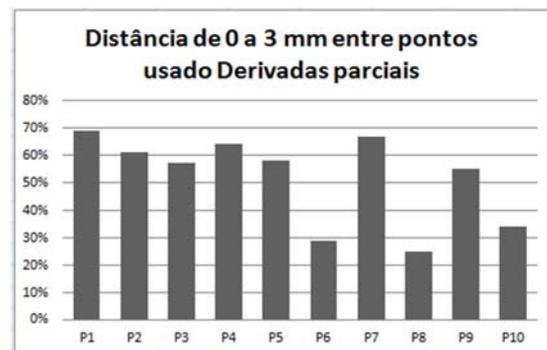


Figura 6: Resultados dos testes realizados com Derivadas parciais.

## Discussão

Para que o algoritmo de reconhecimento tenha êxito, a imagem deve apresentar um contraste mínimo onde seja possível obter a silhueta da mão, pois esse algoritmo baseia-se na localização dos dedos polegar e indicador e no crescimento da largura da mão em relação ao punho para determinar as regiões de interesse. A Figura 7 mostra a localização das regiões de interesse sobre duas imagens com diferentes níveis de contraste.

Os testes foram realizados separadamente em cada região de interesse da imagem. A região do carpo foi excluída da análise devido a seu baixo contraste, o que dificulta a detecção dos centros de ossificação dessa região. As técnicas implementadas foram intercaladas entre si a fim de verificar qual arranjo apresentou os melhores resultados.

Como pode ser visto na Figura 8, a detecção Canny não apresentou bons resultados devido aos máximos locais que surgiam nos metacárpicos e provocaram o surgimento de bordas duplas, que dificultou a correta detecção das bordas.

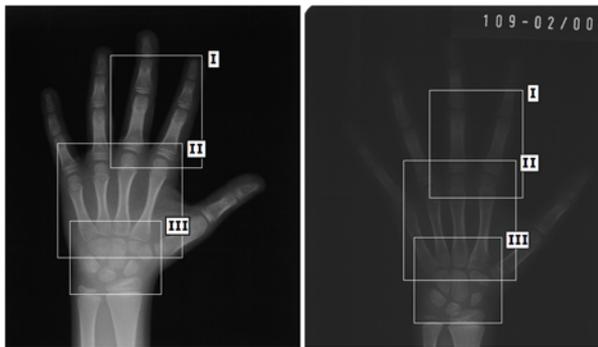


Figura 7: Representação das regiões de interesse sobre imagens com diferentes níveis de contraste. (I) Região das falanges; (II) Região dos metacárpicos e (III) Região do carpo.

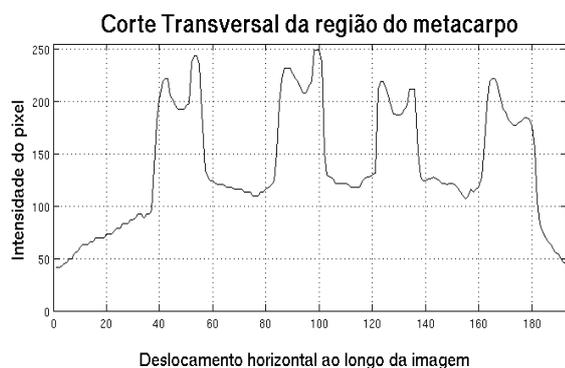


Figura 8: Corte da região do metacarpo após suavização e equalização do histograma, mostrando os máximos locais responsáveis pela detecção de falsas bordas.

A detecção por derivadas parciais conseguiu superar esse problema, pois buscou selecionar bordas onde a derivada parcial fosse maior que um determinado limiar, que elimina as falsas bordas.

## Conclusão

A aplicação de uma metodologia experimental para técnicas clássicas de PDI mostra que não existe uma técnica ideal para todo tipo de imagem. A escolha de uma determinada técnica está intimamente relacionada com a aplicação a que a imagem se destina. As técnicas encontradas durante a revisão da literatura enriqueceram consideravelmente este trabalho, pois contribuíram com ideias simples e eficientes como as de Zhang, Gertych e Liu (2007) [5] e Giordano *et al.* (2010) [6].

O processo de detecção adotado não apresentou taxas de acerto tão elevadas como as de outros trabalhos disponíveis na literatura que abordam o mesmo tema, porém os resultados obtidos aqui são considerados satisfatórios, pois utiliza técnicas com menor grau de complexidade que outras bastante difundidas na detecção de centros de ossificação, tais como redes neurais e classificação fuzzy. Além disso, os critérios de detecção de bordas utilizando derivadas parciais podem ser melhorados a fim de elevar a eficiência da ferramenta.

## Referências

- [1] Nobuyasu LT. Estudo comparativo da maturação Óssea em radiografia carpal entre indivíduos com IMC normal e baixo peso. Dissertação, Universidade de Marília, Marília, 2008.
- [2] Olivete CJ. Estimativa da idade óssea através da análise carpal baseada na simplificação do método de Eklof & Ringertz. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- [3] Moraes ME, Moraes LC, Filho EM, Grasioli MA. Reliability of Greulich & Pyle and Eklof & Ringertz methods for skeletal age evaluation in Brazilian children. Rev. Odontol. UNESP, 2003, v.32, n.1, p. 9–17.
- [4] Olivete C J, Rodrigues ELL. Maturidade Óssea: estimação por simplificações do método de Eklof e Ringertz. Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem, 2010, v. 43, n. 1.
- [5] Zhang A, Gertych A, Liu BJ. Automatic bone age assessment for young children from newborn to 7-year-old using carpal bones. Comput Med Imaging raph, 2007, v. 31, n. 4-5, p. 299–310.
- [6] Giordano D, Spampinato C, Scarciolo G, Leonardi R. An automatic system for skeletal bone age measurement by robust processing of carpal and Epiphysal/Metaphysal bones. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2010, v.59, n.10, p. 2539–2553.
- [7] Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, v. PAMI-8, n. 6.
- [8] Rodrigues ELL, Olivete CJ. Banco de dados on-line para auxílio à pesquisa em estimação da idade óssea. Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, 2008.
- [9] J. R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, 2011, v. 2.