

Artigo Original

**O EFEITO DA CORREÇÃO DO “EFEITO *HEEL*” EM IMAGENS RADIOGRÁFICAS DA MÃO**

C. Olivete Jr., E. L. L. Rodrigues e M. Z. do Nascimento  
Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica  
Avenida. Trabalhador São-Carlense, 400 - São Carlos – SP  
E-mail: olivete@sel.eesc.usp.br

Recebido em 25 de outubro de 2004; aceito em 20 de junho de 2005.

**Resumo**

Este trabalho apresenta uma metodologia para atuar na fase de pré-processamento em imagens radiográficas da mão. Inicialmente é utilizado um algoritmo para correção do efeito *Heel*, corrigindo a iluminação não uniforme no fundo das imagens. Em seguida, são aplicados alguns métodos de ajuste, *thresholding* e correção nas imagens originais. E por último é apresentado um estudo comparativo através da aplicação dos métodos de *thresholding* nas imagens.

**Palavras-chave:** Análise Carpal, Efeito *Heel*, Visão Computacional, Thresholding.

**Abstract**

This work presents a methodology to act in the preprocessing phase in radiographic images of the hand. Initially an algorithm is used to correct the *Heel* effect, which provides a correction of the illumination in the background of the images. After that, some methods for adjustment, *thresholding* and correction of the original images are applied. Finally, a comparative study through the application of the methods of *thresholding* in the images is presented.

**Keywords:** Carpal Analysis, *Heel* Effect, Computer Vision, Thresholding.

**Introdução**

O processamento de imagens digitalizadas de radiografias da mão possibilita a obtenção de diagnósticos computadorizados com base na interpretação de características dos ossos da mão, cujo procedimento auxilia no acompanhamento do processo de crescimento humano. Utilizando imagens em nível de cinza, um dos processos mais simples para isolar os ossos do tecido da mão pode ser baseado nos níveis distintos que os pixels correspondentes a cada região das imagens apresentam. Porém, esse procedimento simples é comprometido pela distribuição irregular de intensidade dos raios-

X, o qual ocasiona uma iluminação não uniforme no fundo das imagens. Este efeito é conhecido por efeito *Heel* (Behiels et al 2002).

A distribuição de intensidade depende do posicionamento relativo do dispositivo de gravação em relação à fonte dos raios-X, podendo variar não uniformemente entre 75% e 125%. Essa variação faz com que algumas partes do filme sejam pouco sensibilizadas, enquanto outras sejam sensibilizadas em excesso, prejudicando o contraste necessário para a obtenção de uma boa imagem (Nascimento et al 2003).

Como as diferenças de intensidades presentes no fundo das imagens dificultam o uso de técnicas simples de pré-processamento como, por exemplo, a aplicação de métodos clássicos de *thresholding*, este trabalho apresenta resultados da influência real do efeito *Heel* em imagens digitalizadas de radiografia carpal. Mostra o desempenho de métodos clássicos de *thresholding*, com e sem correção do efeito *Heel*, e também apresenta uma metodologia eficiente que pode ser utilizada na fase de pré-processamento de imagens digitalizadas de radiografias da mão, para auxiliar o acompanhamento clínico do crescimento humano.

Para a realização deste trabalho foram analisadas 450 imagens de radiografias da mão esquerda (banco de dados do Departamento de Engenharia Elétrica da USP – São Carlos), de pacientes do sexo masculino e feminino com idades entre 6 e 18 anos.

## **Metodologia**

Nos itens a seguir são descritos os métodos para a obtenção das imagens radiográficas, obtenção da área padrão, o algoritmo para a correção do efeito *Heel*, o método para o ajuste da imagem, os métodos de *thresholding* e o algoritmo de ajuste final das imagens.

### **Obtenção das imagens radiográficas**

As imagens radiográficas foram obtidas em um equipamento de raios-X convencional (Pendullun 300MA - 150KV de alta frequência), utilizando valores padrão para esse procedimento, ou seja, tensão de 45 kVp, corrente de 0.3 mA e distância foco-filme de 1m, considerando ainda o feixe de raios-X dirigido perpendicularmente ao centro do filme. Em seguida, as imagens foram digitalizadas em um *scanner* progressivo Kodak modelo Is50 com resolução de 300 *dpi*.

### **Obtenção da área padrão**

A área padrão corresponde à medida de cada osso da imagem original, e é utilizada para realizar a comparação com a área obtida ao final do processamento. Da imagem original são analisadas 19 áreas, as quais correspondem aos ossos das falanges e metacarpos. Os ossos do punho não foram considerados como áreas para comparação, pois alguns apresentam áreas sobrepostas, tornando-se difícil a tarefa de isolar suas áreas correspondentes.

Após a escolha desses ossos, foi desenvolvido um procedimento para calcular a área de cada uma das 19 regiões, as quais podem ser vistas na Figura 1. O procedimento desse algoritmo é descrito abaixo:

- inicialmente, foram isoladas manualmente as 19 regiões de interesse;
- cada linha de cada região é considerada um conjunto de valores e para cada conjunto é calculado a média e o desvio padrão. Todos os pixels do conjunto que possuem valores de níveis de cinza dentro do intervalo que compreende a média e o desvio padrão, para mais ou para menos, serão considerados pertencentes ao osso. Os pixels restantes serão considerados como pertencentes ao fundo da imagem e ao tecido da mão, sendo assim eliminados;

- após a eliminação, é feita uma contagem dos pixels que pertencem ao osso e este valor será interpretado como “área” de cada osso e, é armazenado para a comparação posterior.

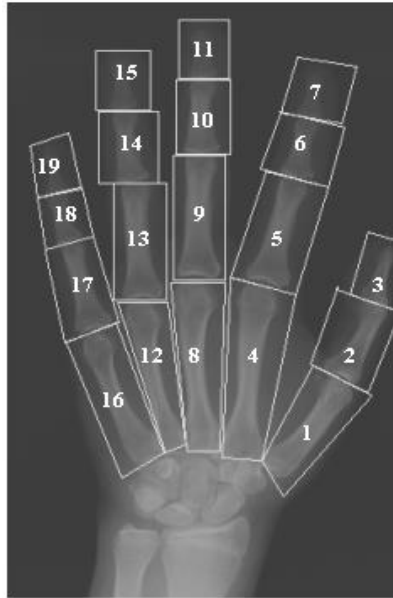


Figura 1: Imagem original (Tavano 2001).

### ***Algoritmo para correção do efeito Heel***

O efeito *Heel* é um fenômeno que produz uma redução na intensidade dos raios-X, gerando uma iluminação não uniforme em certas partes da imagem (Behiels *et al* 2002). Embora este efeito possa ser facilmente corrigido pelo sistema de percepção da visão humana, essa presença complica o uso de técnicas de pré-processamento. Para eliminar as variações da não uniformidade encontrada na região de fundo foi aplicado um algoritmo (Nascimento *et al* 2003), baseado na simulação computacional da distribuição da intensidade de radiação, desenvolvido por Marques (Marques 1998), que permite corrigir nas imagens radiográficas, as variações das densidades ópticas causadas pelo efeito *Heel*.

### ***Ajuste da imagem***

Após a eliminação do comportamento não uniforme no fundo das imagens, são aplicados filtros de suavização, para eliminar (ou atenuar) pequenos ruídos que possam

## 42 Olivete Jr. et al: O “Efeito Heel” em imagens radiográficas da mão

ter restado nas imagens (Parker 1996). O filtro de suavização utilizado foi a da média por vizinhança 11 x 11.

Após a suavização, o resultado é armazenado em uma imagem auxiliar e em seguida, é feita uma subtração entre a imagem auxiliar e a imagem original. A imagem original torna-se a imagem resultante dessa operação.

### ***Métodos de thresholding***

Um método eficiente de thresholding (limiarização) deve ser capaz de fornecer automaticamente um valor (limiar), para o qual, todos os pontos com valores de intensidade inferior a este devem ser eliminados (Parker 1996). Esta etapa da limiarização é utilizada para eliminar os pixels que não pertençam aos ossos.

Os métodos de thresholding implementados são os métodos clássicos de aplicação genérica:

- “Otsu” (Parker 1996): o valor do limiar é obtido globalmente, supondo que os pontos da imagem podem ser classificados em duas classes que são o fundo e o objeto, considerando as variâncias entre as classes e a variância total;
- “Pun” (Parker 1996): é baseado na teoria da informação. Por esta teoria, define-se a entropia do objeto e do fundo da imagem e o limiar global é obtido calculando o argumento máximo entre estes dois valores da entropia;
- “Niblack” (Parker 1996): o valor do limiar é obtido de forma adaptativa através da análise do valor da média e do desvio padrão nas regiões da imagem (enfoque local);
- “Rosenfeld” (Parker 1996): o limiar é obtido através de duas análises: uma pixel a pixel, para a obtenção das probabilidades de intensidade de cada pixel e uma segunda análise para a qualificação da compatibilidade dos mesmos de cada região (enfoque local).

### ***Algoritmo de ajuste final***

Após aplicar os métodos de *thresholding* nas imagens, verificou-se que alguns métodos removeram pixels pertencentes aos ossos, o que resultou em uma “erosão” não desejada, e em alguns casos modificando inclusive partes das bordas dos ossos.

Para recuperação dos pixels que foram erroneamente removidos, aplicou-se uma metodologia baseada em morfologia matemática, composta de uma seqüência de dilatação e erosão, obtendo-se uma imagem auxiliar. Em seguida, é feita uma operação lógica que atribuirá nesta imagem auxiliar todos os pixels da imagem original que anteriormente tinham sido removidos. A imagem original torna-se a imagem resultante dessa operação.

### **Resultados**

Com a obtenção da área padrão de cada osso em cada imagem original, foram aplicados os algoritmos de ajuste e todos os métodos de *thresholding* implementados e, posteriormente, foram obtidas as áreas resultantes de cada osso na imagem, antes e depois da correção do efeito *Heel*, de forma semelhante à obtenção da área padrão. A Figura 2a ilustra o resultado da aplicação do método utilizando *thresholding* de Otsu sobre uma imagem ajustada (suavizada), porém sem a correção do efeito *Heel*. Na Figura 2b é apresentado o resultado porém depois da aplicação do algoritmo de correção do efeito *Heel*.

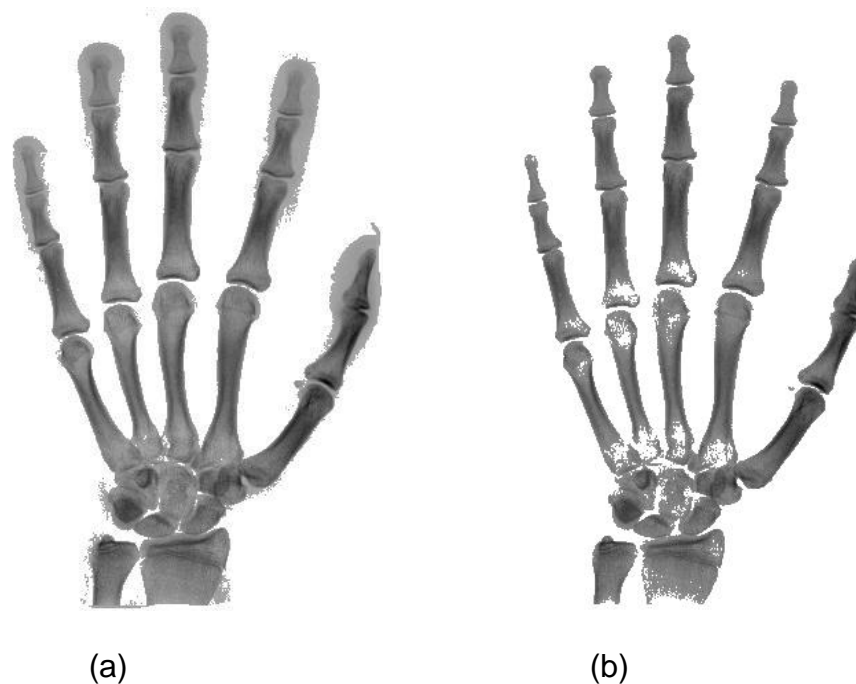


Figura 2: (a) Processamento sem correção do efeito *Heel*. (b) Imagem processada após correção do efeito *Heel* – Aplicado o Método de Otsu.

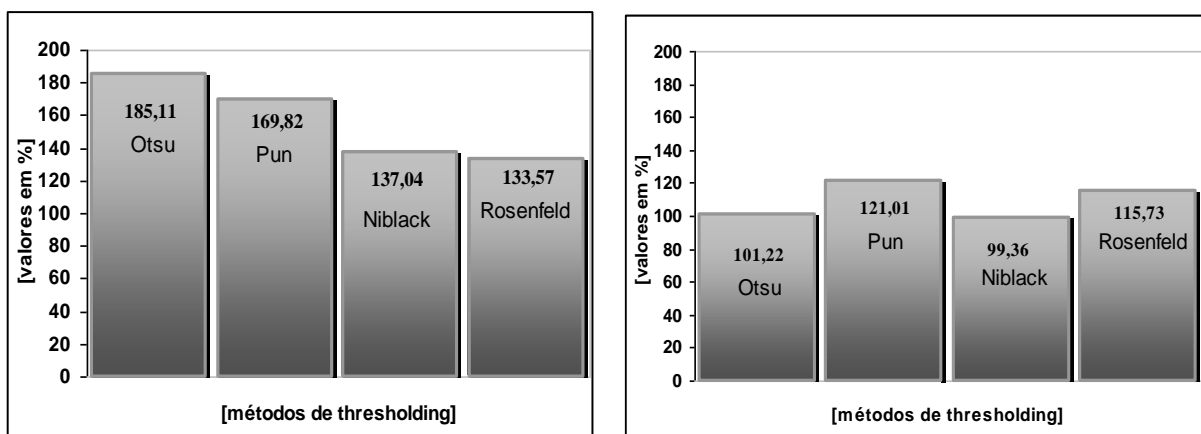
Após a obtenção das imagens processadas com e sem correção do efeito *Heel*, como se pode observar o exemplo nas Figuras 2a e 2b, foram medidas as áreas resultantes de cada um dos 19 ossos e comparadas com as áreas padrões da Figura 1 (original). A Tabela 1 apresenta a comparação percentual da área encontrada de cada região de interesse com relação à área original (tamanho de cada região antes da aplicação do algoritmo de correção do efeito *Heel*).

Tabela 1 – Percentagem da área encontrada para cada região de interesse em relação à área original.

Ossos	Figura 2a	Figura 2b	Ossos	Figura 2a	Figura 2b	Ossos	Figura 2a	Figura 2b	Ossos	Figura 2a	Figura 2b
1	110,78	90,53	6	192,54	99,61	11	306,46	117,71	16	118,48	88,23
2	142,28	103,65	7	287,47	104,82	12	116,58	83,96	17	109,10	91,07
3	284,87	112,70	8	96,97	72,43	13	102,56	84,77	18	160,34	100,57
4	95,84	79,56	9	102,04	87,19	14	122,17	95,13	19	318,15	115,66
5	117,00	94,77	10	146,84	99,27	15	268,55	102,93	<b>Média</b>	<b>168,37%</b>	<b>96,03%</b>

Na Tabela 1, nota-se que a aplicação do método de Otsu sobre a imagem sem correção do efeito *Heel* resultou em uma média de 168,37% de área, significando que as áreas calculadas foram em média 68,37% maiores que a imagem original (Figura 2a), isso em virtude da presença do tecido da mão e de ruídos presentes na imagem. Já quando o método foi aplicado sobre uma imagem sem a presença do efeito *Heel*, o método conseguiu obter uma média de 96,03%, perdendo apenas 3,97% (Figura 2b) da totalidade de pixels da imagem original (Figura 1), e em regiões que não comprometem o desempenho do método.

Atualmente existem trabalhos que buscam resultados analisando apenas as falanges do 3º dedo da mão (Sato e Mitani 1999); ossos representados pelos números 9, 10 e 11 na Figura 1. Para mostrar a eficiência dos métodos quando aplicados nestas três regiões de interesses, foram gerados gráficos para analisar as imagens antes e depois da correção do efeito *Heel*. A Figura 3a ilustra a média percentual dessas três áreas encontradas com os métodos de *thresholding*, aplicados nas imagens sem correção do efeito *Heel*. Já a Figura 3b ilustra a média percentual após a correção do efeito *Heel*.



(a)

(b)

Figura 3: (a) Média percentual das três falanges encontradas na imagem (Figura 2a) sem correção do efeito *Heel*. (b) Média percentual encontrada após correção do efeito *Heel*.



#### 46 Olivete Jr. et al: O “Efeito Heel” em imagens radiográficas da mão

Na Figura 3a, nota-se que todos os métodos de limiarização encontraram valores percentualmente elevados para estas três falanges, variando entre 33% a 85% além do tamanho original (Figura 1). Já na Figura 3b, verifica-se que o método adaptativo de Niblack encontrou um resultado percentual próximo do ideal, perdendo apenas 0,64% da totalidade de pixels da imagem original (Figura 1).

Para medir a eficiência de cada método de *thresholding* quando aplicado nas imagens com e sem efeito *Heel*, foram gerados gráficos comparativos. A Figura 4a ilustra a média percentual geral das áreas encontradas com os métodos de *thresholding* aplicados nas imagens sem correção do efeito *Heel*. Já a Figura 4b ilustra a média geral dos métodos de *thresholding* aplicados nas imagens após a correção do efeito *Heel*.

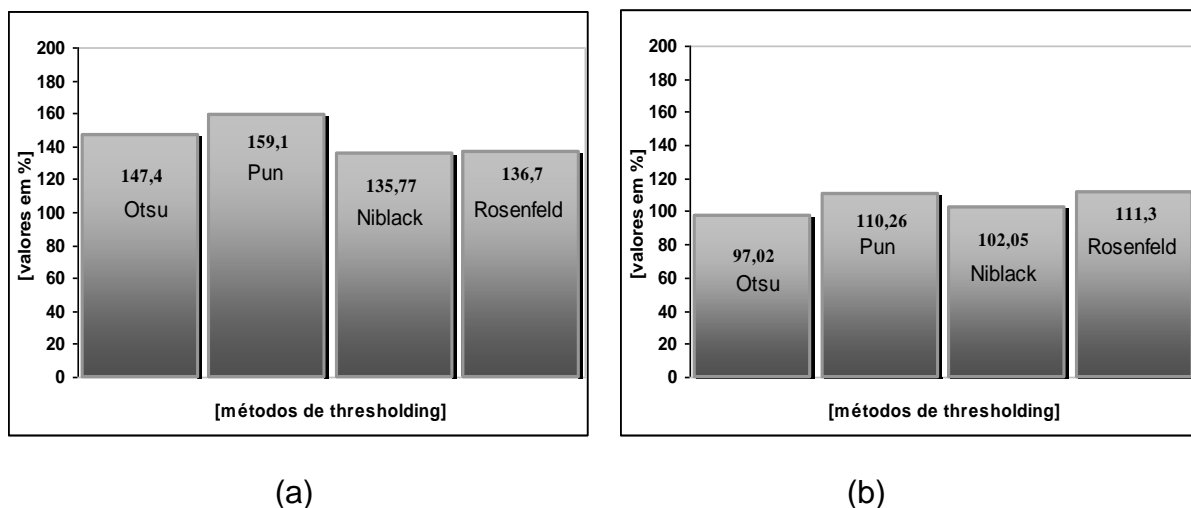


Figura 4: (a) Média percentual de todas as áreas nas imagens processadas sem correção do efeito *Heel*. (b) Média percentual de todas as áreas após correção do efeito *Heel*.

A Figura 4a mostra que nenhum dos métodos de limiarização foi capaz de binarizar a imagem com um resultado que pudesse ser considerado satisfatório. Na Figura 4b, verifica-se que dois métodos conseguiram obter uma boa média em relação à imagem original: Otsu e Niblack, onde apresentaram uma média entre 97% e 102% respectivamente, em relação à imagem original.

Em todas as imagens processadas com a limiarização de Otsu após a correção do efeito *Heel* verificou-se que alguns pixels pertencentes aos tecidos da mão e também alguns pertencentes aos ossos dos metacárpicos (ossos representados por 4, 8, 12, 16 da Figura 1) e das falanges proximais (5, 9, 13 e 17 da Figura 1) foram perdidos, mantendo-se partes das bordas destas regiões, como pode ser visto na Figura 2b. Na tentativa de recuperação de partes dos pixels, foi aplicado o algoritmo de ajuste final. Na Figura 5 é apresentado o resultado da aplicação deste algoritmo sobre a imagem processada (Figura 2b).



Figura 5: Resultado da aplicação do algoritmo de ajuste final sobre a imagem processada (Figura 2b).

Observando a Figura 5, verifica-se que quase todos os pixels foram recuperados. Para medir a eficiência deste algoritmo foram novamente medidas as áreas resultantes de cada uma das regiões e comparadas com as áreas da Figura 2b. A Tabela 2 apresenta a comparação percentual da área encontrada após a aplicação deste algoritmo.

Tabela 2 – Percentagem da área encontrada para cada região de interesse em relação à área original após ajuste final da imagem.

Ossos	Figura 2b	Figura 5	Ossos	Figura 2b	Figura 5	Ossos	Figura 2b	Figura 5	Ossos	Figura 2b	Figura 5
1	97,53	98,05	6	99,61	99,61	11	114,71	112,11	16	88,23	94,97
2	103,65	103,89	7	104,82	103,08	12	83,96	94,75	17	91,07	94,07
3	109,70	110,01	8	72,43	95,65	13	84,77	93,52	18	100,57	100,57
4	79,56	97,01	9	87,19	95,19	14	95,13	95,13	19	115,66	114,35
5	94,77	96,21	10	99,27	99,27	15	101,93	100,10	<b>Média</b>	96,03	99,87

Na Tabela 2, nota-se que a aplicação do método de Otsu na imagem ajustada (Figura 2b) resultou em uma média de 99,87% de área, não conseguindo recuperar em média apenas 0,13% dos pixels da imagem original (Figura 1).

### Discussões e Conclusões

Com o algoritmo de correção do efeito *Heel* foi possível eliminar todas as variações de intensidade do fundo das imagens. O algoritmo de ajuste da imagem também foi muito importante, eliminando (ou atenuando) pequenos ruídos que prejudicavam a aplicação dos métodos de limiarização implementados. Por fim, o algoritmo de ajuste final também foi muito importante quando aplicado nas imagens que apresentam perdas de pixels em algumas regiões da mão, recuperando a imagem quase por completo.

Os métodos de limiarização globais de Otsu e Pun foram escolhidos porque encontram um único valor de limiar para toda a imagem, e por isso mostram de uma forma efetiva o resultado da correção do efeito *Heel* nas imagens. Já os de Niblack e Rosenfeld são métodos adaptativos e encontram um valor de limiar para cada região da imagem, de onde se esperavam resultados de áreas não muito discrepantes entre as imagens com e sem correção do efeito *Heel*, o que de certa forma ocorreu. Em todas as imagens, os métodos de Otsu e de Niblack foram os mais eficientes, como mostra a Figura 3b. Já o método de Rosenfeld, apresentou o pior resultado entre todos os métodos implementados.

Com base nos resultados alcançados, pode-se concluir que a correção do efeito *Heel* realmente representa grande benefício para outros estágios de processamento em imagens radiográficas da mão.

Um grande problema que precisa ser solucionado para que a metodologia possa de fato ser utilizada em sistemas automáticos de pré-processamento de imagens radiográficas da mão é a maneira como são obtidas as regiões de interesse. Para solucioná-lo será feito um algoritmo para automatizar o processo de isolamento destas regiões, que atualmente é realizado manualmente.

## Referências

Behiels, G., Maes, F., Vandermeulen, D. & Suetens, P. 2002, “Retrospective Correction of the *Heel* Effect in Hand Radiographs”, *Medical Image Analysis*, vol. 6, pp. 183 – 190.

Marques, M. A. 1998, “*Simulação Computacional de Parâmetros Importantes de Sistemas Radiológicos*”, São Carlos, Tese (Doutorado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Nascimento, M. Z., Frère, A. F., Marques, M. A., Rodrigues, S. C. M., 2003, “Subtraction of images for automatic determination of center of the radiation field”, *Proceedings. 25 th Annual International Conf. of the IEEE Eng. in Medicine and Biology Society*, Cancún, México, pp. 937-940.

Parker, J. R. 1996, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley & Sons, New York.

**50 Olivete Jr. et al: O “Efeito Heel” em imagens radiográficas da mão**

Sato, K., Mitani, H. 1999, “Bone age used as parameter was calculated by both Tanner-Whitehouse 2 (TW2) by CASMAS (Computer Aided Skeletal Maturity Assessment System)”, Proceedings. *The 99th annual session of American Association of Orthodontics*, USA.

Tavano, O. Freitas, J.A.S., Lopes E.S. (1982) Comparação entre duas tabelas de avaliação de idade biológica através do desenvolvimento ósseo. *Clin. Pediatr.* 5, p. 7-21.