

Estimação da idade óssea: comparativo entre valores obtidos com a metodologia *Contornos Ativos Snakes versus* valores médios obtidos com os métodos de *Eklof & Ringertz, Tanner & Whitehouse e Greulich & Pyle*

Celso Olivete Júnior, Ronaldo Celso Messias Correia, Rogério Eduardo Garcia

Departamento de Matemática e Computação – Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Estadual Paulista (UNESP) – CEP 19060-900 – Presidente Prudente – SP
– Brasil

{olivete, ronaldo, rogerio}@fct.unesp.br

Abstract. AIM: *The aim of this work was to evaluate bone age assessment by the simplifications of Eklof & Ringertz methodology. METHODS:* *There were used hand radiographic images of 631 children and adolescents (boys and girls; age: 6-16 years) in order to obtain the skeletal age assessment using Eklof & Ringertz simplifications – E&R5 and E&R3 (5 and 3 hand bones ossification centers). RESULTS:* *The results were analysed using the Multiple Linear Regression test and the t-Student test (5%), concerning the average of three classical methods. CONCLUSION:* *It is possible to conclude that both proposed simplifications (E&R3 and E&R5) are appropriate for bone age estimation, using fast e simplified configuration, with similar results to the average of the traditional methods.*

Resumo. OBJETIVO: *O objetivo deste trabalho foi avaliar a estimação da idade óssea utilizando simplificações do método de Eklof & Ringertz. MÉTODOS:* *Foram utilizadas imagens carpais de 631 crianças e adolescentes (sexo masculino e feminino; idade: 6-16 anos) para a estimação da idade óssea com as simplificações - E&R5 e E&R3 (simplificado para 5 e 3 centros de ossificação). RESULTADOS:* *Os resultados foram analisados utilizando a Regressão Linear Múltipla e o teste T de Student (5%), considerando a média de três métodos clássicos. CONCLUSÃO:* *É possível concluir que as duas simplificações (E&R5 e E&R3) são apropriados para estimar a idade óssea, utilizando-se de uma configuração rápida e simplificada, com resultados semelhantes aos da média dos métodos tradicionais.*

1. Introdução

O grau de desenvolvimento de uma criança é frequentemente avaliado utilizando-se indicadores que refletem as mudanças físicas que se produzem no indivíduo em processo de maturação. Avalia-se, por exemplo, a ossificação das epífises e posterior fusão com as diáfises, o início do pico de velocidade de crescimento e a aparição de caracteres sexuais secundários. Estes indicadores obedecem a uma sequência razoavelmente constante de aparecimento, porem as idades cronológicas nas quais são

atingidos variam consideravelmente entre os indivíduos, sendo também influenciados pelo gênero, raça, fatores genéticos, ambientais, socioeconômicos e hormonais.

A avaliação em conjunto destes indicadores fornece uma medida da idade biológica do indivíduo, a qual é de grande utilidade na odontologia, pois a idade cronológica nem sempre coincide com o estágio de maturação em que o paciente se encontra e por isso a idade cronológica não é um bom parâmetro para avaliar o estágio de maturação óssea de um indivíduo.

Na ortodontia, a estimativa do grau de maturação do indivíduo constitui um auxiliar valioso na avaliação do potencial de crescimento do paciente durante o tratamento, sendo importante na determinação do pico de velocidade de crescimento puberal, da velocidade de crescimento e da previsão de quando ocorrerá o chamado surto. Essas informações significam maior segurança durante o diagnóstico e planejamento mais adequado para o caso. Através da estimativa da maturação óssea e da velocidade de crescimento haverá uma maior possibilidade para que o início do tratamento coincida com o período de máximo crescimento facial e a influência desse crescimento se faça presente de maneira marcada na terapia.

Várias áreas do esqueleto têm sido utilizadas para estimar a maturação esquelética: o pé, o tornozelo, o quadril, o cotovelo, a mão e o punho e as vértebras cervicais. A radiografia de mão e punho tem sido a mais frequentemente utilizada, devido à grande quantidade de ossos e epífises, que sofrem mudanças em diferentes tempos e velocidades, localizados em uma área não muito extensa.

Entre os métodos desenvolvidos para estimar o grau de maturação do indivíduo em radiografias de mão e punho destacam-se: Greulich & Pyle (GP), que faz uma avaliação inspeccional dos ossos da mão através de um Atlas [Haite, Kurita e Casanova 2006; Olivete, Nascimento. e Rodrigues 2004]; o método de Tanner & Whitehouse (TW), que analisa 20 ossos da mão e punho atribuindo um escore específico para cada osso e sexo, e através da soma desses escores obtém-se a idade óssea [Xu e Prince 1997; Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005; Kass, Witkin e Terzopoulos 1998]; e o método Eklof & Ringertz (ER), o qual se baseia em medidas de dimensão de 10 centros de ossificação, formados por ossos do carpo, largura da epífise distal do rádio, comprimento e largura do capitato e do hamato, comprimento dos metacarpais II, III e IV, e comprimento das falanges proximais II e III [Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005; Olivete, Nascimento. e Rodrigues 2004]. Este método apresenta duas tabelas, uma para cada sexo, onde cada centro de ossificação possui um padrão mínimo e um máximo de medida. A idade óssea é calculada através de um valor médio das idades obtidas para cada centro de ossificação. Uma descrição mais detalhada destes métodos e dos processos de estimação pode ser obtida no portal de informações de idade óssea (www.carpal.eesc.usp.br).

Encontram-se alguns trabalhos nesta linha de pesquisa, dentre eles pode-se citar o de Haite et al. [Haite, Kurita e Casanova 2006], que desenvolveram uma metodologia de estimação da idade óssea através da automatização do método de TW. O trabalho de Haite et al. [Haite, Kurita e Casanova 2006] realiza um estudo com o objetivo de verificar se os métodos de GP, TW e ER poderiam ser aplicados à população brasileira e qual destes métodos seria o mais confiável, quando comparados à idade cronológica do indivíduo.

O método de ER é um método baseado em procedimentos computacionais, nos quais realizam tarefas, como por exemplo, obtenção das dimensões dos centros de ossificação utilizados no processo de estimação. Todavia, antes de realizar esse procedimento, necessita-se segmentar a imagem, separando os ossos do tecido da mão e do fundo da imagem. Essa etapa é conhecida por segmentação, responsável por atuar no processo de extração dessas características [Haiteir, Kurita e Casanova 2006]. Esse processo pode ser realizado utilizando os métodos de detecção de bordas, responsáveis por detectar e definir o contorno dos objetos presentes na imagem [Xu e Prince 1997; Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005; Kass, Witkin e Terzopoulos 1998], onde neste estudo o objeto é uma imagem radiográfica da mão e as bordas definem as regiões de interesse (centros de ossificação). Tratando-se de imagens carpais, a maioria dos métodos clássicos utilizados para segmentação apresenta deficiências em algumas situações devido aos diferentes níveis de intensidade que elas apresentam [Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005; Olivete, Nascimento. e Rodrigues 2004].

O método de contornos ativos *Snakes* foi a técnica selecionada para atuar na fase de extração de características dos centros de ossificação. Foi adotado este modelo por ser uma das abordagens mais vigorosas encontradas na literatura para a etapa de segmentação, oferecendo um poderoso método que mistura geometria, física e teoria de aproximação. Este modelo é caracterizado por tentar ajustar uma curva fechada sobre as bordas dos objetos de interesse pertencentes à imagem [Xu e Prince 1997; Kass, Witkin e Terzopoulos 1998].

O presente trabalho apresenta resultados de uma plataforma que contém uma rotina, baseada em modelos de contornos ativos – *Snakes*, capaz de segmentar e extrair informações (em mm²) das regiões de interesses de imagens carpais. Essas informações, posteriormente, alimentam uma outra rotina responsável por estimar a idade óssea. Por fim, a plataforma informa qual a discrepância entre a idade óssea obtida utilizando a metodologia *Snakes* e o laudo médico médio (obtido através dos métodos de ER, GP e TW).

2. Materiais e Métodos

2.1. Banco de imagens

Foram utilizadas 631 imagens radiográficas da mão esquerda obtidas junto ao Departamento de Odontologia da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP. Os pacientes (303 do sexo masculino e 328 do sexo feminino), faixa etária entre 6 e 16 anos (72 e 203 meses, respectivamente), foram divididos em 11 grupos de acordo com a idade óssea e o sexo. A classificação foi realizada baseando-se nos laudos obtidos com os métodos de GP, TW e ER, sob supervisão do Prof. Dr. Francisco Haiteir Neto e com o auxílio da plataforma *Anacarp* (www.carpal.eesc.usp.br). A Tabela 1 mostra a distribuição do conjunto de imagens.

Tabela 1. Conjunto de imagens utilizado no estudo

Grupo	Faixa etária (meses)	Número de imagens	
		Masculino	Feminino
1	72 - 83	16	27
2	84 - 95	41	22
3	96 - 107	29	27
4	108 - 119	27	51
5	120 - 131	32	30
6	132 - 143	38	47
7	144 - 155	32	32
8	156 - 167	34	37
9	168 - 179	27	29
10	180 - 191	12	11
11	192 - 203	15	15
Total		303	328

2.2. Segmentação das imagens carpais utilizando Snakes

O método tradicional de Snakes foi proposto por Kass, Witkin e Terzopoulos [1998], onde uma Snake se inicia em uma configuração mais ou menos arbitrária, através de uma curva inicial que evolui até contornar o objeto de interesse. A evolução do contorno ocorre de forma a tentar minimizar a energia funcional [Kass, Witkin e Terzopoulos 1998], que basicamente é dado pela combinação das energias da curva ou energia interna e da imagem ou externa. Devido a estas forças é que a *Snake* pode se deformar até encontrar a borda do objeto, que neste caso são as regiões de interesse, formada por metacarpos e falanges [Olivete, Nascimento e Rodrigues 2004].

A energia interna considera aspectos físicos como elasticidade, responsável por deformar a curva sob a ação de uma força específica e aspectos de rigidez, que é responsável por garantir a sua suavização. Por sua vez a energia externa considera as características intrínsecas da própria imagem, sendo responsável por fazer a *Snake* se guiar por regiões mais escuras na imagem, até a sua conformidade [Young 1995; Sonka, Hlavac e Boyle 1998].

2.3. O Modelo Discreto de Snakes

Uma definição em termos computacionais retrata uma Snake como um conjunto de N pontos de controle, ou *snaxels*, cujas posições, ilustradas na equação 1 são interligadas e variam no decorrer do tempo [Young 1995].

$$\{v_i(t) = (x_i(t), y_i(t)), i = 0, k, N - 1\} \quad (1)$$

O modelo de energias utilizado no desenvolvimento desta ferramenta de pré-processamento é baseado na *Snake* tradicional e possui a característica de atuar sobre a curva de maneira simples. Desenvolveu-se a deformação da *Snake* tanto para processos de contração quanto para expansão, possuindo a característica de manter, da melhor forma possível, as *Snaxels* com critérios de espaçamento equivalentes [Mackiewicz 2014]. Nos resultados é mostrado apenas o processo de contração, por apresentar o melhor resultado.

Para a configuração inicial da *Snake* são considerados dois tipos de polígonos fechados: circular e definido pelo usuário. Assim, a criação da *Snake* por intermédio de um polígono circular é realizada por uma equação que descreve um círculo, dado um ponto e seu raio. Para esta configuração também é necessário especificar a quantidade de *Snaxels*, que serão dispostos pela curva de maneira equidistante. A configuração por

um polígono definido pelo usuário descreve a curva inicial pela interligação de *Snaxels* escolhidas manualmente. No entanto, a curva inicial depende de uma combinação de energias para proporcionar a sua evolução até as bordas de interesse. A deformação da Snake é feita através da ação da energia interna normal, de tensão, rigidez e da energia externa, iterativamente sobre todos os *Snaxels* [Young 1995; Sonka, Hlavac e Boyle 1998; Mackiewicz 2014].

A energia interna normal e de tensão agem de forma conjunta para movimentar e manter um espaçamento uniforme entre os *Snaxels*. O processo de contração da curva é exemplificado na Figura 1.

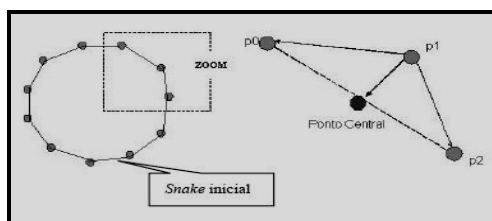


Figura 1. Processo de atuação da Snakes: no ponto p1: a deformação é iterativa e ocorre deslocando o ponto analisado para um novo ponto central, que é o produto vetorial entre os *Snaxels* de p_0p_1 e p_1p_2 . [Mackiewicz 2014].

A força interna de rigidez relaciona-se à suavidade da *Snake*, sendo descrita através de *Splines* sobre as *Snaxels*. Por fim, a energia externa é definida em função das características de interesse na imagem, neste caso as bordas [Mackiewicz 2014].

2.4. Análise dos resultados

Após a obtenção dos dados, os valores foram tabulados e submetidos à análise estatística. Utilizando o software Excel foram obtidas as médias, desvios-padrão, gráficos de dispersão, equações de regressão e os coeficientes de determinação. Os intervalos de confiança foram gerados através do *BioEstat 3.0*.

3. Resultados

3.1. Processo de extração de características

A Figura 2 ilustra a atuação da rotina de *Snakes* sobre as falanges médias e proximais (Figura 2a e 2b, respectivamente) e o resultado da segmentação para as falanges proximais (Figura 2c).

Como pode ser visto nas Figuras 2a e 2b, a *Snakes* conseguiu contrair até o limite da região de interesse, delimitada pela borda do osso das falanges médias e proximais. Na Figura 2c nota-se que o algoritmo de *Snakes* foi capaz de isolar com precisão todas as falanges proximais, sem perder pixels pertencentes aos ossos. Com esse processo, é possível isolar todas as regiões de interesse necessárias para a estimativa da idade óssea [Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005] de uma maneira rápida, precisa e eficaz. A seguir são apresentados os resultados da estimação da idade óssea.

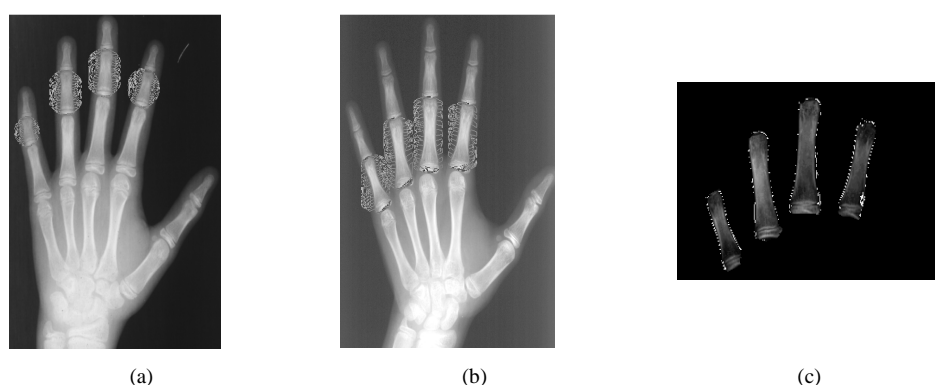


Figura 2. (a), (b): Processo de contração da *Snake* para as falanges distais e proximais, (c): segmentação das falanges proximais.

3.2. Construção da tabela de medidas

Após a segmentação das imagens, foram obtidas todas as medidas de área dos centros de ossificação selecionados para estimar a idade óssea, baseando-se no método de ER simplificado (ER5) [Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005] para os dois conjuntos de imagens (sexo masculino e feminino). Os centros de ossificação selecionados são formados pelos ossos: metacarpo II, III e IV e pelas falanges proximais II e III. Uma descrição mais detalhada desses centros de ossificação e dos passos necessários para a utilização da metodologia de *Snakes*, pode ser obtida no trabalho de Olivete e Rodrigues [Olivete e Rodrigues 2007]. Posteriormente, foram gerados gráficos (para todos os ossos e em ambos os sexos) com a finalidade de analisar o comportamento da área encontrada para cada osso em função da faixa etária. O gráfico da Figura 3 mostra o comportamento destas medidas baseando-se nas imagens do sexo masculino.

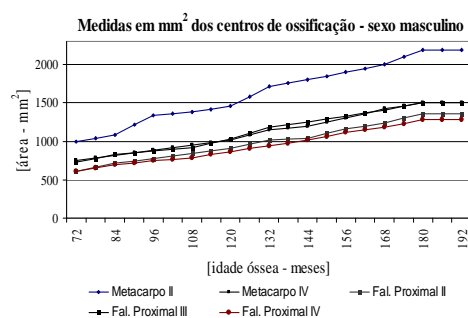


Figura 3. Área média em pixels encontrada para os metacarpos II e IV e falanges proximais II, III e IV - sexo masculino.

Analisando a Figura 3, claramente observa-se a existência de uma relação bem comportada entre idade óssea e a área dos centros de ossificação em todas as faixas etárias. A Tabela 2 traz as medidas para cada centro de ossificação (em mm²) e a idade óssea (em meses) correspondente para as imagens do sexo masculino.

De posse das informações presentes na Tabela 2, construiu-se uma base de informações representativas que ilustram o comportamento do crescimento ósseo da população analisada. O mesmo procedimento foi realizado para as imagens do sexo feminino. A seguir são apresentados os passos utilizados na segmentação das imagens utilizando *Snakes* e, uma confrontação entre os laudos estimados pela plataforma em relação ao laudo médico médio (obtido através dos métodos de ER, GP e TW). Os

resultados foram tabulados e analisados estatisticamente pelo fator de correlação (regressão linear). O nível de significância adotado nas comparações foi de 5%.

Tabela 2. Áreas médias (em mm²) obtidas para cada centro de ossificação de acordo com a idade óssea (6 a 16 anos). Sexo masculino.

Idade óssea (meses)	Medidas em mm ²				
	Metacarpo		Falange proximal		
	II	IV	II	III	IV
72	998.11	757.25	607.59	726.64	607.14
78	1043.38	789.85	663.54	776.92	649.35
84	1088.64	822.45	719.50	827.19	691.56
90	1212.60	854.71	745.51	847.65	720.94
96	1336.55	886.97	771.51	868.10	750.32
102	1358.14	916.35	807.57	894.98	767.16
108	1379.73	945.73	843.63	921.85	784.01
114	1418.67	982.21	876.05	973.67	825.75
120	1457.62	1018.69	908.47	1025.48	867.49
126	1585.96	1082.78	962.66	1104.56	904.00
132	1714.30	1146.87	1016.85	1183.63	940.50
138	1759.11	1170.95	1030.14	1216.76	977.32
144	1803.91	1195.04	1043.43	1249.89	1014.14
150	1850.82	1251.23	1100.58	1288.65	1063.92
156	1897.72	1307.42	1157.73	1327.40	1113.71
162	1951.14	1364.83	1198.03	1367.93	1148.08
168	2004.55	1422.23	1238.33	1408.46	1182.45
174	2097.69	1460.75	1300.14	1458.63	1232.77
180	2190.83	1499.28	1361.95	1508.81	1283.09
186	2190.83	1499.28	1361.95	1508.81	1283.09
192	2190.83	1499.28	1361.95	1508.81	1283.09

3.3. Confrontação entre laudos gerados pela metodologia versus média dos laudos médicos (ER, GP e TW)

Objetivando analisar os resultados obtidos com a metodologia baseada em *Snakes* realizou-se um estudo comparativo com os laudos gerados a partir da média dos laudos médicos. Avaliou-se, para cada grupo e para cada sexo, o valor médio, o desvio-padrão e o intervalo de confiança obtido com as médias dos laudos e com as idades estimadas. Esses valores estão expressos nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Médias, desvios padrões e intervalo de confiança para a média dos laudos e as idades estimadas utilizando a metodologia Snakes - sexo masculino.

Grupo	Faixa etária (meses)	Média dos Laudos			Laudos Snakes		
		Média	DP	IC (LI - LS)	Média	DP	IC (LI - LS)
1	72 - 83	76.86	5.41	74.21 - 79.51	75.53	4.57	73.29 - 77.76
2	84 - 95	89.71	5.71	88.80 - 90.62	89.17	2.97	87.42 - 90.92
3	96 - 107	99.95	3.33	98.73 - 101.16	98.88	4.67	97.18 - 100.58
4	108 - 119	111.74	2.91	110.64 - 112.83	108.59	0.36	108.46 - 108.73
5	120 - 131	127.08	3.41	125.90 - 128.26	124.11	0.50	123.94 - 124.29
6	132 - 143	136.25	2.15	135.57 - 136.94	134.68	0.33	134.58 - 134.79
7	144 - 155	147.90	2.43	147.06 - 148.74	146.78	0.46	146.62 - 146.93
8	156 - 167	160.27	2.73	159.35 - 161.19	159.52	0.36	159.40 - 159.65
9	168 - 179	170.06	1.82	169.38 - 170.75	167.18	0.22	167.10 - 167.26
10	180 - 191	184.26	2.07	183.09 - 185.43	185.24	0.23	185.11 - 185.37
11	192 - 203	193.86	1.81	192.94 - 194.78	190.21	0.16	190.13 - 190.29

DP: Desvio padrão; IC: intervalo de confiança (95%); LI: limite inferior; LS: limite superior

Por estas duas Tabelas (3 e 4) podemos observar para ambos os sexos que as idades estimadas pela metodologia *Snakes* e as médias dos laudos são bastante semelhantes entre si. Notam-se valores de desvio-padrão maiores na média dos laudos do que nas idades estimadas pelo método baseado em Snakes, podendo ser justificados pela subjetividade dos métodos clássicos de GP e TW. Os intervalos de confiança, gerados com base na significância estatística de 5%, apresentaram faixas de valores bem parecidos para todos os grupos e sexo. Para ilustrar esses comportamentos, geraram-se gráficos (ver Figura 4) que demonstram a correlação entre as médias dos laudos médicos, obtidos por GP, TW e ER, e as idades estimadas pela metodologia *Snakes*, com distinção entre sexo e grupos (faixa etária).

Tabela IV. Médias, desvios padrões e intervalo de confiança para a média dos laudos e as idades estimadas utilizando a metodologia Snakes - sexo feminino.

Grupo	Faixa etária (meses)	Média dos Laudos			Laudos Snakes		
		Média	DP	IC (LI - LS)	Média	DP	IC (LI - LS)
1	72 - 83	81.75	4.75	79.42 - 84.08	80.53	3.17	78.98 - 82.08
2	84 - 95	93.89	3.23	92.90 - 94.88	91.16	2.56	90.38 - 91.94
3	96 - 107	103.40	2.50	102.49 - 104.31	102.32	2.83	101.29 - 103.35
4	108 - 119	113.98	1.90	113.26 - 114.70	115.67	1.44	115.13 - 116.21
5	120 - 131	132.60	2.30	131.80 - 133.40	126.87	1.02	126.52 - 127.22
6	132 - 143	139.40	2.76	138.52 - 140.28	141.29	0.99	140.98 - 141.60
7	144 - 155	151.00	1.76	150.39 - 151.61	153.65	0.36	153.53 - 153.77
8	156 - 167	162.10	2.32	161.32 - 162.88	159.99	0.22	159.92 - 160.06
9	168 - 179	172.67	1.45	172.12 - 173.22	180.00	0.86	179.68 - 180.32
10	180 - 191	186.10	2.17	184.87 - 187.33	192.34	0.44	192.09 - 192.59
11	192 - 203	193.98	1.77	193.08 - 194.88	201.87	0.30	201.72 - 202.02

DP: Desvio padrão; IC: intervalo de confiança (95%); LI: limite inferior; LS: limite superior

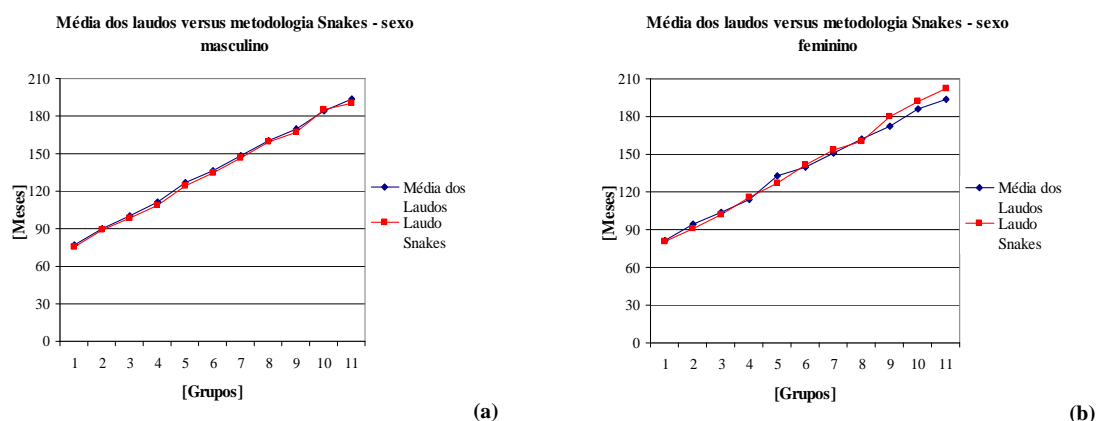


Figura 4. Correlação entre as médias dos laudos e as idades estimadas utilizando metodologia Snakes – (a) sexo masculino e feminino (b)

Nos gráficos de correlação (presentes na Figura 4) das médias dos laudos com as idades estimadas com a metodologia *Snakes*, observa-se no sexo masculino que as idades estimadas possuíram valores semelhantes e que se aproximaram bastante das médias dos laudos médicos. Nos pacientes do sexo feminino, nota-se que na maior parte dos grupos os valores da média dos laudos e laudo *Snakes* estiveram muito próximos, havendo uma superestimativa dos laudos *Snakes* somente nos grupos de pacientes com maiores idade óssea (a partir dos 14 anos – grupo 9).

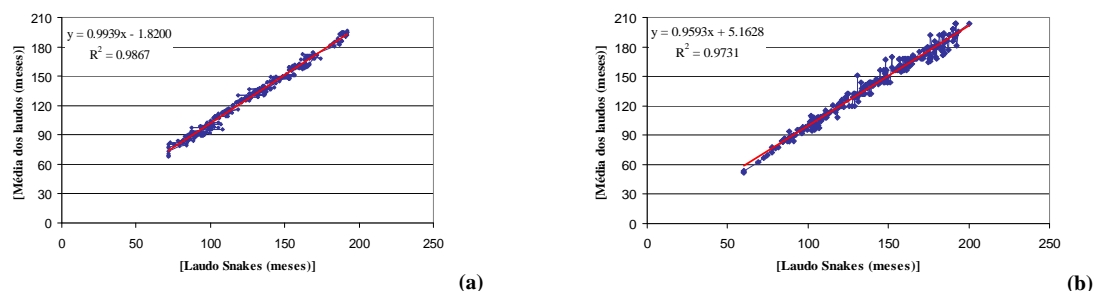


Figura 5. Diagrama de dispersão e reta ajustada pela equação de regressão entre média dos laudos (X) e idade óssea estimada pelo método Snakes (Y) - sexo masculino (a) e feminino (b).

Os gráficos da Figura 5 mostram os diagramas de dispersão e as retas ajustadas pelas equações de regressão entre as idades estimadas pela metodologia de área óssea - *Snakes* (eixo X) e as médias dos laudos (eixo Y) para cada sexo. Apresentam-se, também, os respectivos coeficientes de determinação (R^2), que representam o

coeficiente de determinação, a quantidade de variação total explicada pela metodologia *Snakes*, e as equações de regressão que devem ser usadas para tornar a metodologia aplicável ao grupo de imagens analisado.

4. Discussões

Com a aplicação do algoritmo de *Snakes* foi possível obter todas as regiões de interesse, apresentadas no trabalho de Olivete [Olivete, Queiroz e Rodrigues 2005], necessárias para a análise e estimativa da idade óssea, sem a utilização de métodos pré-processamento [Olivete, Nascimento e Rodrigues 2004].

Analisando as curvas (Figura 3) foi possível verificar um relacionamento bem comportado das áreas dos centros de ossificação de acordo com a idade óssea, sendo possível construir uma base de informações representativas que ilustram o comportamento do crescimento ósseo da população analisada. A partir desta análise foi possível construir tabelas de medidas para ambos os sexos e faixas etárias (meses) que representam o comportamento de crescimento dos centros de ossificação.

Os resultados alcançados com a metodologia – presentes nas Tabelas 3 e 4 – foram analisados a partir dos valores médios, desvios-padrões e intervalos de confiança (5% de significância). Verificando esses valores notam-se pequenas diferenças, que podem ser decorrentes da subjetividade dos métodos de GP e TW. Essas diferenças podem ser notadas no grupo 2, com valores de desvio-padrão diferindo em 2.74 meses no sexo masculino. Já, no sexo feminino, a maior diferença – 2.10 meses – foi notada para a faixa etária 156-167 meses.

Os valores médios obtidos com a média dos laudos no sexo masculino foram de 136.18 meses e para o feminino foi de 139.17 meses. Na metodologia *Snakes* foi de 134.54 meses e 140.52 meses para o sexo masculino e feminino respectivamente. Por estes resultados, podemos dizer que o método *Snakes* apresentou uma subestimativa para o sexo masculino e uma superestimativa para o sexo feminino, necessitando assim, da elaboração de equações de reta para sua aplicação no conjunto de imagens do estudo.

Observando-se as equações de regressão ajustadas no método linear para a média dos laudos e idades estimadas pelo método *Snakes* (ilustrados na Figura 5) notam-se altos coeficientes de determinação (R^2) com um melhor valor alcançado quando analisado o conjunto de imagens do sexo masculino – acima de 98%. Esses coeficientes permitem dizer que mais de 98% dos pacientes estão cobertos pela reta de regressão ajustada, ou seja, ao estimarmos a idade óssea com o método *Snakes* com o auxílio da equação de ajuste, teremos um acerto de mais de 98% em relação à média dos laudos médicos.

5. Conclusões

As idades estimadas com a metodologia baseada em área – *Snakes* – apresentaram altas correlações com a média dos laudos médicos tanto para o sexo masculino quanto para o feminino (Figura 4) com valores de coeficientes de determinação chegando a 99% no melhor caso. Foram estabelecidos fatores de correção para a metodologia *Snakes*, por meio da equação da reta de regressão, tornando-o aplicável para a base de imagens analisada.

Referências

- Haiter, F.; Kurita, L. M. e Casanova, M. S. (2006) “Skeletal age assessment: A comparison of 3 methods”, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.
- Kass, M., Witkin, A. e Terzopoulos, D. (1998) “Snakes: Active Contour Models”. In: *International Journal of Computer Vision*, 1988.
- Mackiewicz, B. (2014) “Active Contour Models Snakes”. Disponível em: <http://www.cs.sfu.ca/people/Faculty/Atkins/papers/blairthesis/main/node28.html>. Acesso em 05/04/2014.
- Olivete, C.J., Nascimento, M.Z. e Rodrigues, E.L.L.. (2004), “Metodologia de Pré-Processamento Baseada na Correção do “Efeito Heel” Aplicada em Imagens Radiográficas da Mão”, In: *Anais do III Congresso Latino-Americano de Engenharia Biomédica*, João Pessoa, 2004, Brasil, pp. 106.
- Olivete, C.J., Queiroz, A. C. e Rodrigues, E. L. L. (2005). “Simplificação do Método de Eklof & Ringertz para a Estimativa da Idade Óssea Através da Análise de Imagens Radiográficas da Mão”. In: *V WIM – Workshop de Informática Médica*, 2005, Porto Alegre - SC, 2005, CD-ROM.
- Olivete, C. J. e Rodrigues, E. L. L. (2007). “Idade Óssea: Uma Nova Metodologia de Estimção”, Congresso Latino-Americano de Engenharia Biomédica, Venezuela, 2007.
- Sonka, M.; Hlavac, V. e Boyle, R (1998). “*Image Processing, Analysis and Machine Vision*”, Chapman & Hall Computing, London, 1998. p. 33
- Xu, C. e Prince, J. L. (1997). “Gradient Vector Flow: A New External Force for Snakes”, *IEEE PROC. CONF. ON COMP. VIS. PATT. RECOG.*, p. 66-71.
- Young, D., (1995) “Active Contour Models Snakes”. Disponível em: <http://www.cogs.svsvx.ac.uk/users/davidy/teachvision/vision7.html>