

Alini da Cruz Queiroz

**METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE
CARACTERÍSTICAS DA MÃO PARA A ESTIMAÇÃO DA IDADE
ÓSSEA UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NO
PROCESSO DE DECISÃO**

Dissertação apresentada à escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luís Linhari Rodrigues

São Carlos

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

A Deus, aos meus pais
Reginaldo e Sônia, à minha irmã
Claudia, ao sobrinho Rafael e
ao meu noivo Thiago,
com amor...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Evandro Luís Linhari Rodrigues, pela sua amizade, pelos ensinamentos, pela confiança e incentivo para a realização desta pesquisa, minha sincera gratidão.

Ao Prof. Dr. Ivan Nunes da Silva, pela colaboração para a realização desta pesquisa através de sua orientação relacionada aos assuntos de redes neurais artificiais, meu sincero reconhecimento.

Aos amigos do Laboratório de Imagens Médicas e aos amigos do Laboratório de Visão Computacional, pelo companheirismo, aprendizado diário e pelos bons momentos proporcionados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, em especial às secretárias Denise e Marisa.

Às amigas Nilvana e Deise, pelas longas e divertidas conversas durante a madrugada, pelos conselhos e companheirismo.

Ao meu noivo Thiago, pela grande ajuda na implementação desta pesquisa, pela paciência, compreensão e principalmente pelo companheirismo e amor. À você meus sinceros agradecimentos repletos de carinho e amor.

À minha família, que me ajudou a vencer mais uma fase da vida, sempre com muito carinho e compreensão, pela ajuda financeira e principalmente, por jamais permitirem que eu desistisse dos meus sonhos.

E principalmente à Deus, pela perseverança e conhecimento adquirido, onde foi possível a realização deste trabalho.

RESUMO

Queiroz, A. C. (2006). *Metodologia de extração automática de características da mão para a estimação da idade óssea utilizando redes neurais artificiais no processo de decisão*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma metodologia para estimação da idade óssea baseada no método de Eklof & Ringertz utilizando redes neurais artificiais como classificador, com a finalidade de auxiliar o diagnóstico do radiologista e diminuir a dimensionalidade dos dados analisados pela rede neural, diminuindo a quantidade de centros de ossificação do método utilizado. A metodologia contém um processo automático de extração de características de imagens radiográficas da mão. Na etapa de classificação é utilizada a rede neural perceptron multicamadas, com o algoritmo de treinamento de Levenberg-Marquardt. As características extraídas da imagem são utilizadas como entrada para a rede neural, e os dados do Atlas de Eklof & Ringertz são utilizados como matriz de treinamento. Os resultados da etapa de classificação chegaram a uma taxa de 95% de acerto ao utilizar um centro de ossificação a menos que o método de Eklof & Ringertz simplificado.

Palavras-chave: idade óssea, extração de características, redes neurais artificiais, processamento de imagem.

ABSTRACT

Queiroz, A. C. (2006). *Methodology of automatic extraction of hand characteristics for the estimation of the bone age using artificial neural nets in the decision process*. M.Sc. Dissertation – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

Grounded an Eklof & Ringertz' s method and using artificial neural networks as classifier, the main purpose of this work is to present a methodology to reckon the bone age to the effect to help the radiologist's diagnosis and to reduce the dimensionality of the data analyzed by neural network, reducing the quantity of the ossification's centers of the used method. The methodology holds an automatic process to the hands radiographies image's features. The multilayer perceptron neural network is used in the classification stage, with the Levenberg-Marquardt's training algorithm. The taken image's features are used as an input to the neural network, and Eklof & Ringertz's Atlas data are used as training source. The results of the classification stage reached a rate of 95% of accuracy when applying the Eklof & Ringertz's simplified method, excluding one of the ossification center.

Keywords: Bone age; extract features; artificial neural networks; image processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Radiografia carpal de uma paciente do sexo feminino com idade cronológica de 5 anos.....	5
Figura 2: Estrutura de um osso longo. Fonte: AVANCINI & FAVARETTO (1997).....	6
Figura 3: Os diferentes estágios de desenvolvimento ósseo de uma criança de 1 ano (a), 3 anos (b), 6 anos (c), 9 anos (d), 12 anos (e) e 15 anos (f).....	7
Figura 4: Esqueleto da mão – face palmar. Fonte: NETLER (1990).....	8
Figura 5: Ossos do carpo – face palmar.....	8
Figura 6: Metacarpo e falanges.....	9
Figura 7: Regiões analisadas pelo método de Greulich & Pyle. Fonte: Greulich & Pyle (1982).....	10
Figura 8: (a) Exemplo dos estágios de desenvolvimento da falange distal do segundo dedo. (b) Exemplo de estágios de desenvolvimento do metacarpo do segundo dedo. Fonte: Tanner et al. (1975).....	11
Figura 9: Os 10 centros de ossificação utilizados para estimar a idade óssea através do método de Eklof & Ringetz. Fonte: Tavano (2001).....	12
Figura 10: (a) Sobreposição de ossos na região do punho. (b) Pouca diferença de intensidade dos níveis de cinza entre o tecido e o osso.....	15
Figura 11: Método utilizado para segmentação e extração de características. Fonte: Michael e Nelson (1989).....	16
Figura 12: Segmentação das falanges. Fonte: Pietka et al. (1991).....	17
Figura 13: Aplicação da limiarização global para a correção do efeito <i>heel</i> utilizando o método de <i>thresholding</i> de Otsu. Fonte: Olivete et al. (2005a).	18

Figura 14: (a) Exemplo de segmentação utilizando <i>ASM</i> . (b) Exemplo de Segmentação utilizando <i>Snakes</i> . Fonte: Nopola et al. (2000).	19
Figura 15: (a) Localização do centro das falanges. (b) Projeção horizontal através do histograma. (c) Localização automática das regiões de interesse. Fonte: Pietka et al. (2001).	20
Figura 16: Imagem média do estágio F. Fonte: Niemeijer et al. (2003).	21
Figura 17: Marcação de pontos para a obtenção da idade óssea. Fonte: Olivete et al. (2005c).	22
Figura 18: Exemplo do sistema de classificação e suas variáveis lingüísticas utilizadas. Fonte: Fernández et al. (2004)	24
Figura 19: Modelo de um neurônio biológico. Fonte: www.isurp.com.br/aula/ciencia/Marcio/osistema.htm .	28
Figura 20: Modelo não-linear de um neurônio. Fonte: Haykin (2001).	28
Figura 21: Função sigmóide	29
Figura 22: Representação das camadas de uma rede neural artificial. Fonte: ORTEGA (2002).	30
Figura 23: Rede neural multicamadas. (a) Arquitetura da rede. (b) Direção da propagação da função sinal. Fonte: Haykin (2001).	31
Figura 24: Etapas a serem desenvolvidas do algoritmo de classificação da idade óssea.	34
Figura 25: Diagrama de blocos do pré-processamento da imagem.	35
Figura 26: (a) Imagem original. (b) Imagem com o ajuste de contraste.	35
Figura 27: Diagrama de blocos da etapa de segmentação.	36
Figura 28: Aplicação do procedimento morfológico de abertura utilizando um elemento estruturante em forma de disco.	37
Figura 29: Aplicação da subtração de imagens.	37
Figura 30: (a) Regiões com intensidades de <i>pixels</i> baixas. (b) Aplicação da media da vizinhança. (c) Aplicação da filtragem da mediana.	38
Figura 31: Aplicação do <i>thresholding</i> global de Otsu na imagem suavizada.	39
Figura 32: Localização inicial dos dedos.	40
Figura 33: Localização das regiões de interesse.	41
Figura 34: Assinatura horizontal das regiões de interesse. (a) Terceiro dedo. (b) Segundo dedo. (c) Quarto dedo.	42

Figura 35: Aplicação da primeira derivada sobre a assinatura horizontal. (a) Terceiro dedo. (b) Segundo dedo. (c) Quarto dedo.	43
Figura 36: Dimensões analisadas pelo método tradicional.	44
Figura 37: Rede neural proposta para a classificação da idade óssea.	46
Figura 38: Região do metacarpo 4 onde os níveis de cinza coincidem com o metacarpo 5.	49
Figura 39: Localização automática das regiões de interesse em imagem de baixa qualidade e com inclinação nos dedos.	50
Figura 40: Exemplos do crescimento linear dos centros de ossificação. (a) Crescimento do metacarpo III em relação à idade óssea. (b) Crescimento da falange III em relação à idade óssea.	52
Figura 41: Curva de convergência da rede neural para os dados de treinamento do método completo.	53
Figura 42: Curva de convergência da rede neural para os dados de treinamento do método simplificado.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da etapa de extração de características.	49
Tabela 2: Resultados da etapa de teste da rede neural utilizando o método completo de Eklof & Ringertz.	53
Tabela 3: Resultados da etapa de teste da rede neural utilizando o método simplificado de Eklof & Ringertz.	55
Tabela 4: Resultados da estimação da idade óssea com quatro centros de ossificação. .	55
Tabela 5: Resultados da classificação da idade óssea com um centro de ossificação. ...	56
Tabela 1-A: Cópia original sueca do índice de Eklof & Ringertz para o sexo feminino.....	65
Tabela 2-A: Cópia original sueca do índice de Eklof & Ringertz para o sexo masculino.....	66
Tabela 3-A: Atlas expandido de Eklof & Ringertz para o sexo feminino.....	67
Tabela 4-A: Atlas expandido de Eklof & Ringertz para o sexo masculino.....	70
Tabela 1-B: Resultados da estimação da idade óssea utilizando o método completo de Eklof & Ringertz.....	73
Tabela 2-B: Resultados da estimação da idade óssea pelo método simplificado de Eklof & Ringertz.....	74
Tabela 3-B: Resultados da estimação da idade óssea com quatro centros de ossificação.	75
Tabela 4-B: Resultados da estimação da idade óssea usando somente a falange proximal do terceiro dedo.....	76

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS.....	vi
1 Introdução.....	1
1.1 Considerações iniciais.....	1
1.2 Justificativas e contribuições do trabalho	2
1.3 Estrutura do trabalho.....	3
2 A avaliação da idade óssea através da análise carpal	4
2.1 Considerações iniciais.....	4
2.2 Introdução	4
2.3 Fisiologia do crescimento ósseo.....	5
2.4 Anatomia da mão e punho	8
2.5 Métodos Utilizados para Avaliar a Idade Óssea	9
2.5.1 <i>Greulich & Pyle</i>	9
2.5.2 <i>Tanner & Whitehouse</i>	11
2.5.3 <i>Eklof & Ringertz</i>	12
2.6 Considerações finais.....	13
3 Técnicas computacionais para determinação da idade óssea.....	14
3.1 Considerações iniciais.....	14
3.2 Introdução	14
3.3 Sistemas de processamento de imagens radiográficas da mão e punho.....	15
3.3.1 <i>Métodos de segmentação e extração de características</i>	15
3.4 Classificação	20

3.4.1	<i>Sistemas Fuzzy</i>	22
3.4.2	<i>Sistemas de redes neurais artificiais para classificação</i>	24
3.5	Considerações Finais.....	25
4	Redes Neurais Artificiais	26
4.1	Considerações iniciais.....	26
4.2	Introdução	26
4.3	Neurônio biológico.....	27
4.4	Modelo de um neurônio artificial.....	28
4.5	Topologias de redes neurais utilizadas.....	29
4.4	Processos de aprendizagem.....	30
4.5	Perceptron Multicamadas.....	31
4.6	Considerações finais	32
5	Metodologia	33
5.1	Considerações iniciais.....	33
5.2	Introdução	33
5.3	O Algoritmo	33
5.3.1	<i>Pré-processamento</i>	35
5.3.2	<i>Segmentação</i>	36
5.3.3	<i>Extração de características</i>	39
5.3.4	<i>Classificação</i>	45
5.3.5	<i>Software de desenvolvimento</i>	46
5.4	Considerações finais.....	46
6	Resultados e Discussões	48
6.1	Considerações iniciais.....	48
6.2	Resultados finais	48
6.2.1	<i>Extração de características</i>	48
6.2.2	<i>Estimação da idade óssea utilizando Redes Neurais Artificiais</i>	51
6.3	Considerações finais.....	56
7	Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros	57
7.1	Considerações iniciais.....	57
7.2	Conclusões	57
7.3	Contribuições	58
7.4	Propostas para trabalhos futuros	59
	Referências Bibliográficas	60

Apêndice A: Atlas de Eklof & Ringertz	65
Apêndice B: Resultados da estimação da idade óssea.....	73

1 Introdução

1.1 *Considerações iniciais*

O conceito de idade óssea é comumente utilizado para verificar o estado da maturidade do esqueleto de crianças e adolescentes. Cada indivíduo tem um desenvolvimento biológico particular que nem sempre corresponde com o desenvolvimento cronológico, ou seja, dentro de um grupo de crianças do mesmo sexo e mesma idade cronológica, haverá variação na idade biológica.

A idade óssea é um dos indicadores mais utilizados para estimar o nível da maturidade biológica, pois seu desenvolvimento abrange o período inteiro do crescimento. A estimativa da idade óssea é feita através de uma radiografia da mão esquerda do paciente, onde centros de ossificação de determinadas regiões da mão e punho são comparados com um modelo de referência.

Existem dois métodos clássicos utilizados neste tipo de procedimento, Greulich & Pyle e Tanner & Whitehouse (HAITER, et al., 2000). Ambos necessitam de uma comparação visual entre a radiografia do paciente e os modelos padrões fornecidos por um Atlas. No primeiro método, é feita a comparação da radiografia do paciente com as radiografias do Atlas, a avaliação da idade óssea muda de acordo com a idade e o sexo (GREULICH e PYLE, 1959). As características compatíveis determinam a idade óssea correspondente. O segundo método é baseado em uma análise detalhada dos ossos da mão onde vinte regiões são consideradas. O desenvolvimento de cada região é dividido em estágios discretos e um resultado numérico é associado a cada estágio de cada osso.

Somando-se todos os resultados de todas as regiões obtém-se a idade óssea (TANNER et al., 1975).

Outro método bastante utilizado é o de Eklof & Ringertz, o qual se baseia na análise do comprimento e largura de 10 centros de ossificação (TAVANO, 2001).

1.2 Justificativas e contribuições do trabalho

Na pediatria, a idade óssea é usada como um indicador para avaliar vários causadores de desordens no crescimento. Alguns dos fatores causadores destas desordens estão relacionados ao estado nutricional (ZEFERINO et al., 2003), e outros estão relacionados a problemas no qual a criança apresenta precocidade puberal e hipertireoidismo (LONGUI, 2003). Este procedimento pode mostrar se há necessidade ou não de uma indicação terapêutica, como por exemplo, no caso de disfunções hormonais.

O estudo da maturidade óssea na odontologia é utilizado em tratamentos ortodônticos, pois permite uma avaliação do estágio de crescimento e desenvolvimento em que o indivíduo se encontra, visando introduzir um método específico de acordo com a idade do paciente (TAVANO, 2001).

A incorporação de técnicas computacionais para análise de imagens médicas vem proporcionando avanços importantes na área do auxílio ao diagnóstico médico. Estruturas de difícil visualização podem ser realçadas, e características como dimensão e volume podem ser medidas facilmente, auxiliando a análise do radiologista e aumentando a precisão do diagnóstico (ERICKSON e BARTHOLMAI, 2001). A utilização dessas técnicas na determinação da idade óssea vem crescendo significativamente, pois de acordo com os métodos tradicionais, essa análise é feita de modo visual e comparativa, e varia de acordo com a experiência do radiologista. Esse procedimento consome tempo considerável para a avaliação de todos os ossos, ou de todas as regiões, dependendo do método.

Este trabalho faz uma revisão de literatura dos métodos tradicionais e computacionais de processamento de imagens radiográficas da mão e estimação da idade óssea, e propõe um algoritmo para extração automática de características e estimação da idade óssea utilizando redes neurais artificiais, com base no método de

Eklof & Ringertz, objetivando a diminuição da quantidade de características analisadas, ou seja, do número de centros de ossificação, sem prejuízo da qualidade do laudo final.

1.3 Estrutura do trabalho

Para que se possa apresentar o assunto e discutir a viabilidade da técnica proposta, esta dissertação está dividida em 7 Capítulos.

No Capítulo 2 são apresentados os métodos tradicionais para a determinação da idade óssea.

O Capítulo 3 apresenta as técnicas de processamento de imagens para determinação automática da idade óssea.

No Capítulo 4 são apresentados os sistemas de redes neurais artificiais como ferramentas de classificação.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia desenvolvida no projeto de Mestrado.

O Capítulo 6 evidencia os resultados obtidos com esta metodologia e as discussões.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões e propostas para trabalhos futuros.

2 A avaliação da idade óssea através da análise carpal _____

2.1 Considerações iniciais

Neste capítulo serão abordados os conceitos sobre idade óssea e suas aplicações na radiologia pediátrica. Para uma melhor compreensão do assunto é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre a anatomia da mão e punho.

2.2 Introdução

A avaliação da idade óssea é um procedimento freqüentemente utilizado na radiologia pediátrica, a fim de realizar diagnósticos precoces de doenças relacionadas com desordens no crescimento.

É obtida por meio de um exame radiológico da mão e punho esquerdos, onde a idade óssea é estimada e comparada com a idade cronológica. Uma grande diferença entre as duas pode indicar anormalidades no desenvolvimento do esqueleto, além de uma variedade de síndromes, mal-formações e displasias ósseas (PIETKA et al., 1991).

A idade cronológica não é um bom indicador para a avaliação do crescimento e desenvolvimento, pois além das diferenças determinadas pelo sexo, existem variações individuais de velocidade em que a criança se transforma em adulto, além das influências genéticas, ambientais e nutricionais (ZEFERINO et al., 2003).

A idade óssea tem sido o indicador mais usado nos estudos sobre crescimento e desenvolvimento, pois é considerada como um verdadeiro registro da idade biológica.

Sua determinação é baseada nas mudanças esqueléticas durante o desenvolvimento, as quais podem ser visualizadas e avaliadas em radiografias de partes selecionadas do corpo, durante todo o período de crescimento (TAVANO, 2001).

A mão e punho são as partes do corpo mais utilizadas para a determinação deste parâmetro, pois é uma região pequena onde existem vários centros de ossificação, vários ossos e epífises (Figura 1). Outras partes do corpo como pé, joelho, cotovelo, ombro e quadril também poderiam ser usados, mas estudos destas áreas têm se tornado cada vez menos frequentes, não só devido à quantidade de radiação envolvida no processo, mas também pelo tempo gasto e falta de assistência especializada para realizar a análise.



Figura 1: Radiografia carpal de uma paciente do sexo feminino com idade cronológica de 5 anos.

2.3 Fisiologia do crescimento ósseo

O crescimento ósseo está relacionado com a maturidade estrutural dos ossos do corpo. Ao analisar o osso individualmente, verifica-se a sua região periférica ou seus terminais, no caso de ossos longos (com estrutura cilíndrica), como mostra a Figura 2. A medida que cada osso de estrutura cilíndrica cresce, vai passando por alguns estágios de maturação (MICHAEL e NELSON, 1989).

Há um esqueleto cartilaginoso durante a vida embrionária, o qual será quase totalmente substituído por um esqueleto ósseo. É o que se denomina ossificação endocondral (do grego *endos*, dentro, e *chondros*, cartilagem). Os ossos começam a se formar a partir do segundo mês da vida intra-uterina. Ao nascer, a criança já apresenta um esqueleto bastante ossificado, mas as extremidades de diversos ossos ainda mantêm regiões cartilagosas que permitem o crescimento. Entre os 18 e 20 anos, essas regiões cartilagosas se ossificam e o crescimento cessa (NETTER, 1990).

As extremidades dos ossos longos são chamadas de epífises; o corpo do osso é a diáfise; entre a diáfise e cada epífise fica a metáfise (Figura 2). A diáfise é formada por tecido ósseo compacto, enquanto a epífise e a metáfise, por tecido ósseo esponjoso.

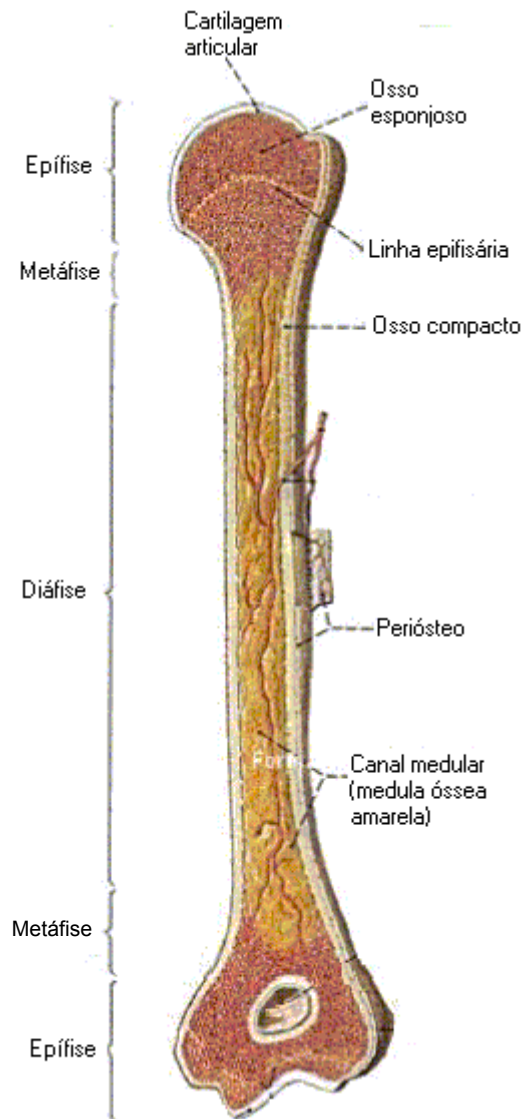


Figura 2: Estrutura de um osso longo. Fonte: AVANCINI & FAVARETTO (1997).

Podem ser observados na Figura 3 os diferentes estágios de desenvolvimento ósseo de uma criança. Inicialmente poucos centros de ossificação são visíveis na imagem, como mostra a Figura 3(a,b). As epífises estão em formação e a distância epifisiária é significativa. Em um intervalo de três anos (Figura 3(c,d)) há um aumento no número de centros de ossificação na região do punho e um maior desenvolvimento da epífise, resultando em uma aproximação com a diáfise. Na Figura 3(d,e) pode-se observar que praticamente todas as epífises e diáfises já se fundiram, e quando isso ocorre o crescimento cessa (NETTER, 1990).

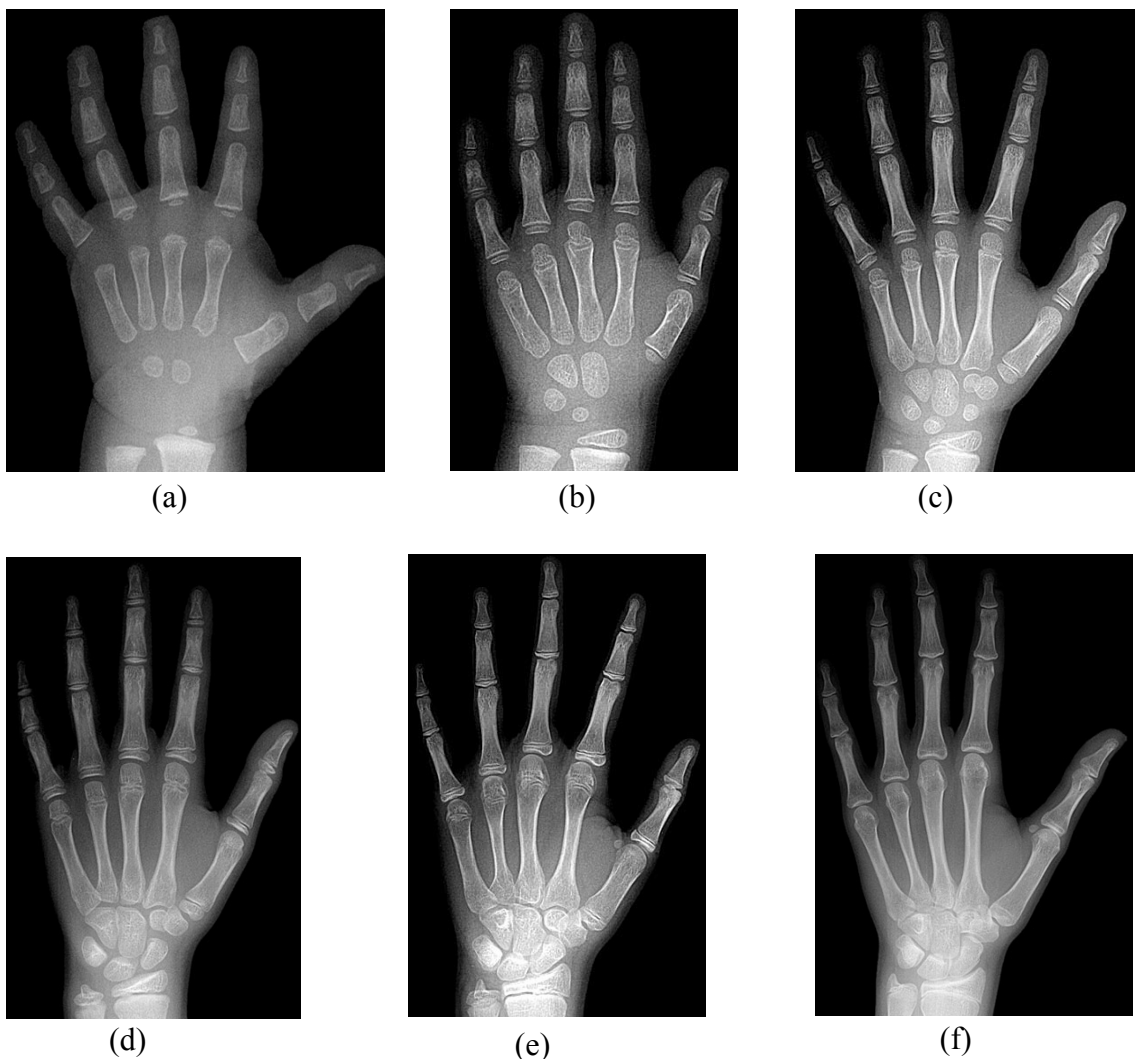


Figura 3: Os diferentes estágios de desenvolvimento ósseo de uma criança de 1 ano (a), 3 anos (b), 6 anos (c), 9 anos (d), 12 anos (e) e 15 anos (f).

2.4 Anatomia da mão e punho

A mão é formada por vinte e sete ossos, os quais são divididos em três grandes grupos: Carpo, Metacarpo e Falanges (NETTER, 1990), como mostra a Figura 4.

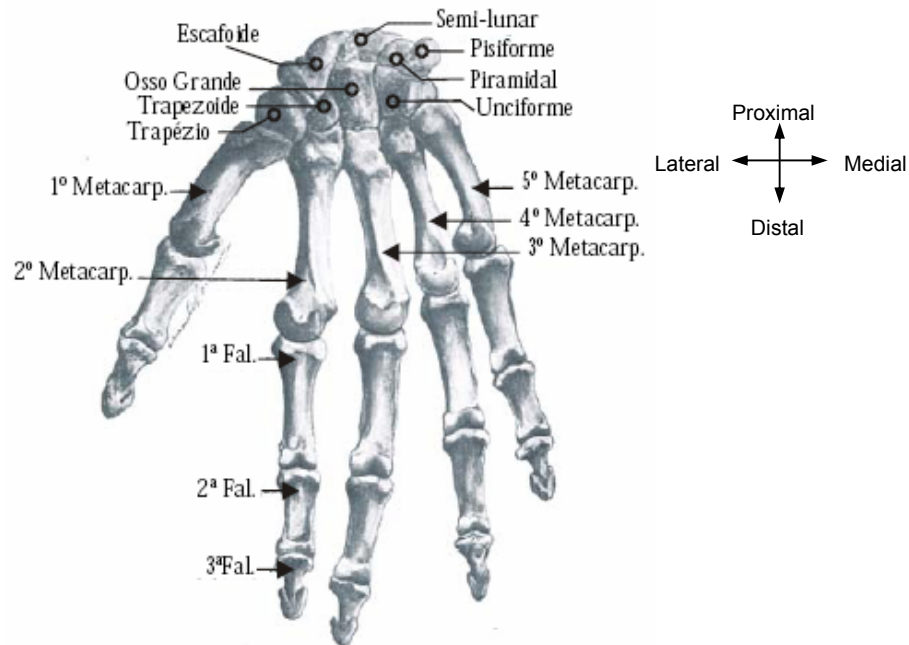


Figura 4: Esqueleto da mão – face palmar. Fonte: NETTER (1990).

O carpo é constituído por oito ossos, dispostos em duas fileiras de quatro, como indica a Figura 5. Na fileira proximal estão: escafoíde, semilunar, piramidal e pisiforme. A fileira distal é formada pelo trapézio, trapezóide, osso grande, ou capitato e unciforme, ou hamato.

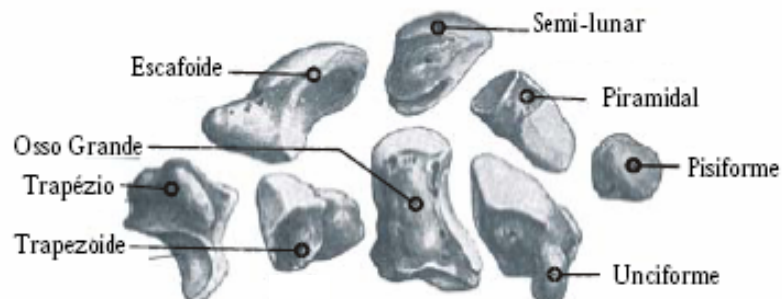


Figura 5: Ossos do carpo – face palmar.

Os ossos do metacarpo unem-se ao carpo e às falanges e são numerados de um a cinco, como mostra a Figura 4. A numeração é feita do polegar ao dedo mínimo, o

primeiro é o mais curto, o segundo mais longo decrescendo em comprimento do segundo ao quinto. Cada osso do metacarpo consiste de um corpo de duas extremidades, sendo que as extremidades distais ou cabeças, se articulam com as falanges proximais e formam os nós do punho. As extremidades proximais ou base, têm facetas para os metacarpos vizinhos, exceto o primeiro que não se articula como segundo.

Cada dedo é formado por três falanges, exceto o polegar que tem duas. A primeira falange, ou proximal articula-se com o metacarpo, a segunda falange, ou média está colocada entre a primeira e a terceira, a terceira falange, ou distal é livre em sua extremidade (Figura 6). As falanges possuem uma base, uma cabeça em sua extremidade distal e um corpo entreposto (TAVANO, 2001).

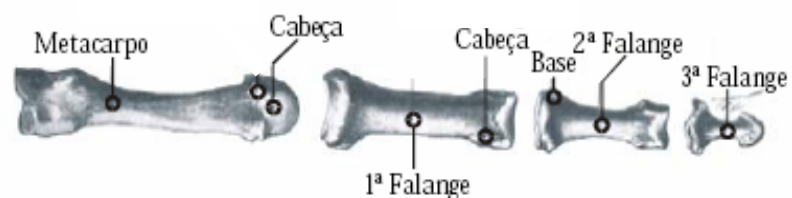


Figura 6: Metacarpo e falanges

2.5 Métodos Utilizados para Avaliar a Idade Óssea

Existem vários métodos para determinar a idade óssea, sendo que os mais utilizados são os propostos por Greulich & Pyle e Tanner & Whitehouse. O método de Eklof & Ringertz também é bastante utilizado por se basear em dimensões ósseas. Apesar dos padrões estabelecidos por estes Atlas não serem de crianças brasileiras, existe uma grande semelhança entre a idade cronológica e a idade fornecida através da análise dos mesmos.

2.5.1 Greulich & Pyle

Em 1950, Greulich e Pyle publicaram um Atlas radiográfico de desenvolvimento ósseo da mão e punho. Os autores destacaram a necessidade da criação de um método que promovesse informações mais precisas acerca do desenvolvimento de um indivíduo e não apenas informações como estatura, peso e

idade cronológica. Neste método inspeccional, a idade óssea é determinada comparando a radiografia em estudo com as radiografias padrões do Atlas, como mostra a Figura 7. (HAITER et al., 2000).

A análise corresponde a uma comparação de trinta centros de ossificação (NIEMEIJER et al., 2003). O Atlas apresenta 58 pranchas radiográficas com padrões que variam entre sexo e estão dispostos em intervalos de 3 meses de idade nos primeiros 18 meses. Dos 18 meses aos 5 anos, os intervalos são semi-anuais, e após esta idade os intervalos são anuais exceto por alguns intervalos semestrais na puberdade. O Atlas possui padrões até os 18 anos para o sexo feminino e até os 19 para o sexo masculino.

Em muitos casos a idade cronológica não corresponde exatamente com um dos estágios estabelecidos pelo Atlas, sendo assim, seleciona-se um estágio que mais se aproxime da radiografia analisada.

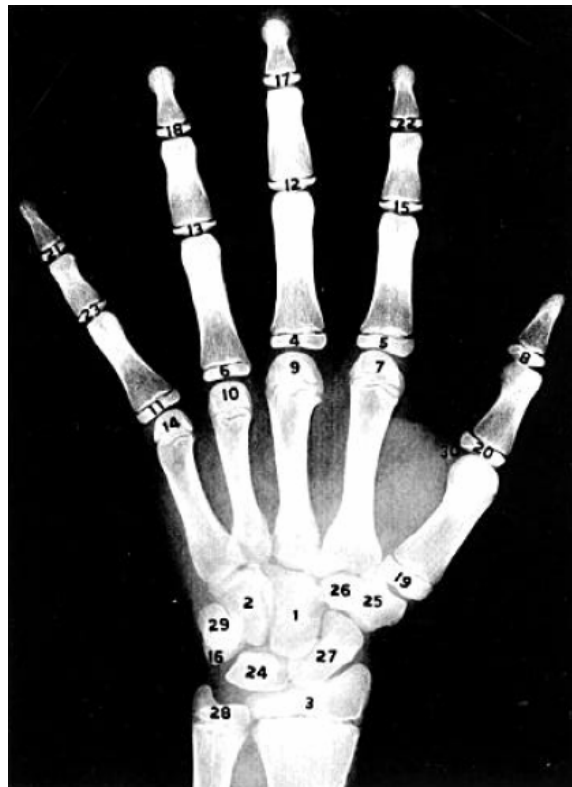


Figura 7: Regiões analisadas pelo método de Greulich & Pyle. Fonte: Greulich & Pyle (1982).

2.5.2 Tanner & Whitehouse

Em 1959, Tanner e Whitehouse, desenvolveram um sistema de determinação da idade óssea (TW1). Neste método, cada osso, dos vinte selecionados da mão e punho, é classificado separadamente em um dos oito ou nove estágios, aos quais são atribuídos numerações, ou escores, como mostra a Figura 8. Estes escores são somados e então é atribuída a idade óssea correspondente (HAITER et al., 2000). Este sistema foi revisado, culminando no método denominado TW2, em que foram realizadas alterações no sistema de escores e ainda estabelecidos escores diferentes para cada sexo. Este novo sistema também prevê maturações ósseas separadas para o rádio, ulna e ossos curtos, metacarpos e falanges, (método RUS) e para os ossos carpais (método CARPAIS).

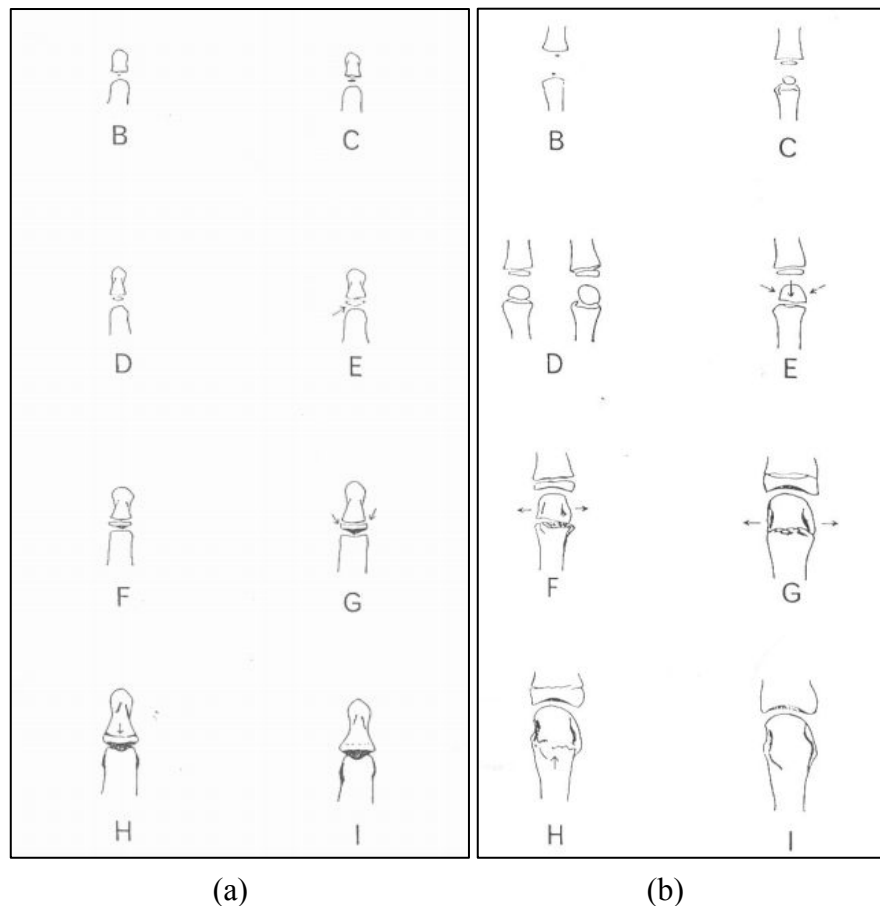


Figura 8: (a) Exemplo dos estágios de desenvolvimento da falange distal do segundo dedo. (b) Exemplo de estágios de desenvolvimento do metacarpo do segundo dedo. Fonte: Tanner et al. (1975).

2.5.3 Eklof & Ringertz

O método de Eklof & Ringertz, o qual é utilizado neste trabalho, baseia-se nas medidas de comprimento e/ou largura de determinados centros de ossificação. Várias pesquisas foram feitas para verificar quais ossos proporcionavam o melhor resultado para avaliar o crescimento (ELKOF e RINGERTZ, 1967). Verificou-se também uma grande variação no desenvolvimento da mão em relação ao sexo, por isso existe um padrão separado para cada um.

Este método analisa apenas o desenvolvimento entre 1 ano e meio e 15 anos de idade, pois as crianças com idade inferior a 1 ano e meio apresentam dificuldades em obter uma relação entre idade óssea e idade cronológica devido aos poucos centros de ossificação visíveis (TAVANO, 2001). Na proposição do método, a avaliação da idade óssea de indivíduos maiores de 15 anos foi descartada pelos autores, pois o interesse era somente em pacientes pediátricos.

Uma série de 1013 crianças foi estudada pelos autores, para o estabelecimento dos padrões adotados como normais. Usando cálculos estatísticos, eles apresentaram duas tabelas, uma para cada sexo, em que cada um dos 10 centros de ossificação (Figura 9) tem um padrão mínimo e um máximo de medida, com desvio padrão para mais ou para menos. Estes parâmetros são apresentados para todas as idades, de 1 até 15 anos, com intervalos de 3 meses entre eles, representando um total de 56 parâmetros, para cada centro de ossificação.

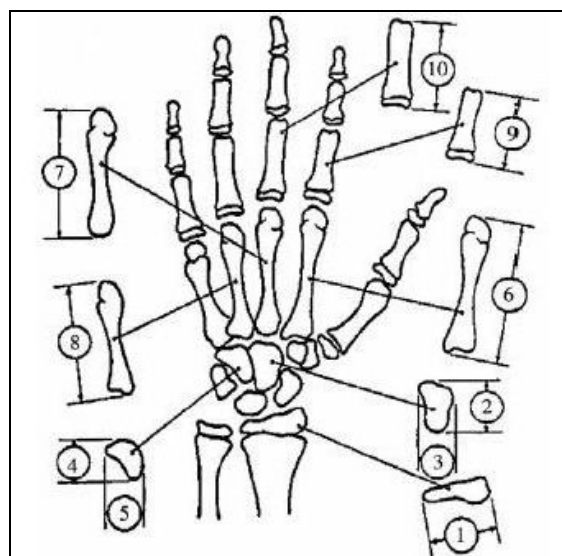


Figura 9: Os 10 centros de ossificação utilizados para estimar a idade óssea através do método de Eklof & Ringertz. Fonte: Tavano (2001).

Este método foi o escolhido para o desenvolvimento desse trabalho devido à facilidade na extração de características, por analisar somente 10 centros de ossificação e não estar dependente de uma análise inspeccional como os métodos de Greulich & Pyle e Tanner & Whitehouse.

2.6 Considerações finais

A revisão bibliográfica mostra a importância da idade óssea na pediatria, apresenta uma visão geral sobre a anatomia da mão e punho e mostra os métodos utilizados para estimar a idade óssea.

Dentre os métodos de classificação da idade óssea, o de Eklof & Ringertz foi o que se destacou por analisar menos centros de ossificação, pois ao utilizar medidas de comprimento e largura oferece boa oportunidade para sua automatização de forma relativamente simples, se comparado aos outros dois anteriormente citados.

3 Técnicas computacionais para determinação da idade óssea —

3.1 Considerações iniciais

Neste capítulo são descritos os principais trabalhos pesquisados na literatura para a determinação da idade óssea, suas técnicas empregadas no processamento e os sistemas utilizados na estimação da idade óssea.

3.2 Introdução

Sistemas computacionais de auxílio ao diagnóstico CAD (*Computer-Aided Diagnosis*) são desenvolvidos com a finalidade de auxiliar o radiologista na emissão do laudo final, servindo assim como uma segunda opinião. Deve apresentar confiabilidade e liberdade de escolha sobre o procedimento a ser tomado (ERICKSON e BARTHOLMAI, 2001). Na radiologia pediátrica estes sistemas vêm aumentando a cada dia devido à necessidade de uma avaliação rápida e precisa na determinação da maturidade do esqueleto.

A princípio, tem-se duas principais abordagens para os problemas existentes na estimação da idade óssea. A primeira é a dificuldade no processamento, devido à sobreposição de ossos na região do punho (Figura 10(a)) e a pouca diferença de intensidade dos níveis de cinza entre tecido e osso (Figura 10(b)). A segunda é na estimação da idade óssea, pois ao se utilizar os métodos de classificação de Greulich & Pyle e Tanner & Whitehouse, a automatização fica fortemente dependente de uma boa segmentação para que a extração de características seja realizada de modo apropriado,

pois estes métodos são baseados em modelos padrões, além de analisarem uma grande quantidade de centros de ossificação.

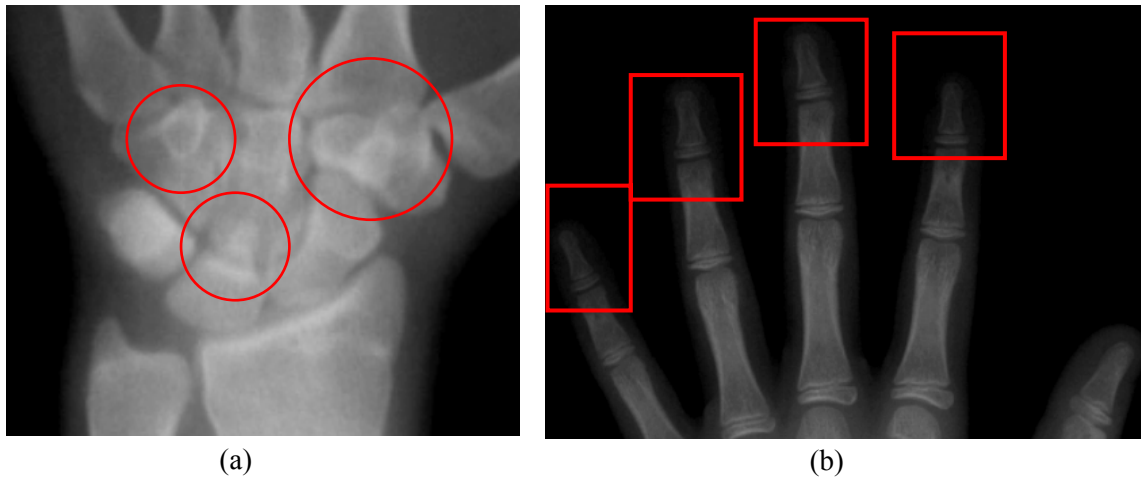


Figura 10: (a) Sobreposição de ossos na região do punho. (b) Pouca diferença de intensidade dos níveis de cinza entre o tecido e o osso.

A fim de solucionar os problemas apresentados, várias pesquisas foram realizadas para melhorar a qualidade da imagem, para realçar estruturas importantes dentro da imagem e para classificar a idade óssea, que serão descritas a seguir.

3.3 Sistemas de processamento de imagens radiográficas da mão e punho

3.3.1 Métodos de segmentação e extração de características

A segmentação é uma das etapas do processo de extração de informações em uma imagem que consiste em separar os objetos de interesse presentes na imagem. Neste caso, a segmentação servirá para separar os ossos do tecido e do fundo da imagem radiográfica carpal.

Um dos primeiros trabalhos que apresentaram uma proposta de pré-processamento e segmentação de imagens radiográficas da mão foi o de Michael e Nelson (1989), no qual é feita a segmentação da terceira falange proximal, onde parâmetros como perímetro, área, eixo maior e eixo menor são medidos. Este método utiliza histograma para normalização das imagens e técnicas baseadas em contorno para

segmentação do osso específico, porém as medidas obtidas não informam a idade óssea do paciente, somente auxiliam mostrando informações anatômicas do osso segmentado.

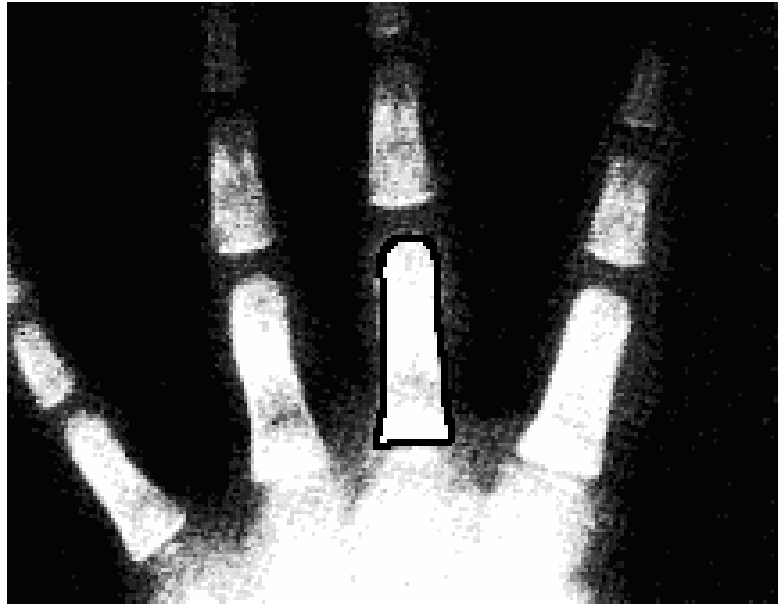


Figura 11: Método utilizado para segmentação e extração de características. Fonte: Michael e Nelson (1989).

Nesse método, pode-se observar pela Figura 11 que há perda de características nas falanges distais. Para solucionar este problema, Pietka et al. (1991) propuseram um método baseado em *thresholding*, também conhecido como binarização de imagens e aplicação de operador gradiente.

Os métodos de *thresholding* podem ser divididos entre processos automáticos globais e adaptativos. Os métodos automáticos globais baseiam-se na análise de propriedades do histograma e utilizam os vales do histograma que correspondem às tonalidades intermediárias entre as duas bandas. Em geral o operador escolhe a tonalidade próxima à banda de interesse, e o programa busca os mínimos mais próximos, em ambos os lados da banda (ARTERO e TOMMASELLI, 2002). Os métodos adaptativos encontram um valor de limiar para cada região da imagem.

No trabalho de Pietka et al. (1991), foi utilizado um método automático global para separar o fundo do tecido, onde os *pixels* que possuem valores uniformes de níveis de cinza são caracterizados como fundo, e *pixels* dentro do campo de radiação são caracterizados pelos valores não-uniformes dos níveis de cinza, ou seja, não pertencentes ao fundo. A separação do osso em relação ao tecido foi feita através da

aplicação de um operador gradiente *Sobel* na direção x e na direção y com suas máscaras clássicas:

$$\text{Na direção } x: \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{Na direção } y: \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

O resultado pode ser observado na Figura 12. As falanges distais foram segmentadas, porém ainda existe grande quantidade de ruídos, ou informações indesejáveis na imagem.

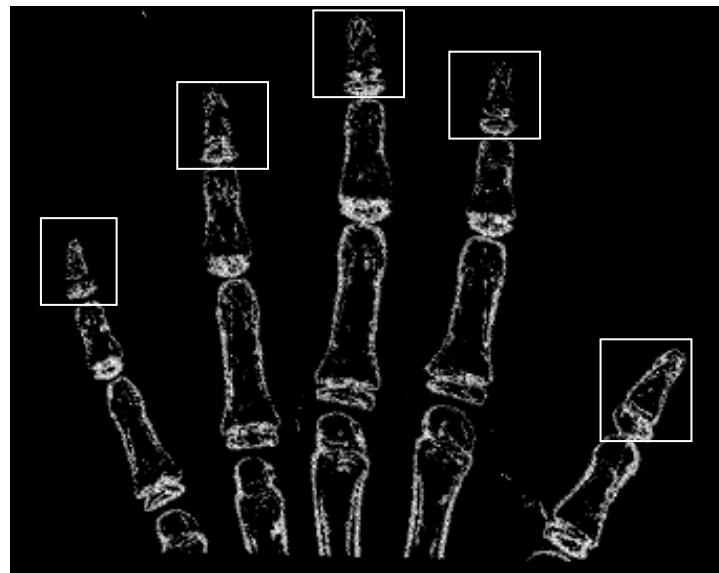


Figura 12: Segmentação das falanges. Fonte: Pietka et al. (1991).

Um outro método de segmentação baseado em *thresholding* foi proposto por Olivete et al.(2005a) para correção do efeito *heel*, que resulta na não uniformidade do fundo provocada pela distribuição irregular de intensidade dos raios-X, onde utilizaram

os métodos de *thresholding* globais de Otsu e Pun para separar os ossos do fundo da imagem, como mostra a Figura 13.



Figura 13: Aplicação da limiarização global para a correção do efeito *heel* utilizando o método de *thresholding* de Otsu. Fonte: Olivete et al. (2005a).

Olivete et al (2005b) fizeram uma comparação entre métodos de limiarização locais e globais para verificar o melhor resultado na segmentação dos ossos da mão e punho, sendo que o método global de Otsu obteve o melhor resultado.

Em 2000, Nopola et al. compararam dois métodos utilizados para segmentar ossos da mão e punho, sendo eles os *Modelos de Contornos Ativos (snakes)* e *Modelos de Formatos Ativos (ASM)*.

Snake é um método de segmentação através de curvas deformáveis. Esta curva pode mover-se sob influência de forças internas, a energia da própria curva, e de forças externas, a energia da imagem, até adequar-se ao objeto de interesse.

O método *ASM* baseia-se na segmentação estatística o qual é capaz de construir um modelo de formas compactas e aspectos de qualquer espécie de formato de objetos, flexivelmente. O ajuste de pontos desse método é feito somente no caminho encontrado por uma instância de cada modelo que foi fornecido previamente. A posição do objeto deve ser fornecida pelo usuário. O método é mais insensitivo para a suposição inicial que o *snake*. Isto ocorre devido ao conhecimento prévio do modelo e posição dos padrões dos grupos de treinamento.

O método *ASM* obteve melhor aplicabilidade na segmentação das falanges e metacarpos devido a sua precisão de predição. O método *snake* obteve um melhor resultado quando utilizado na segmentação dos ossos do punho e epífises, devido a sua grande variação no formato. Ambos os métodos necessitam de uma aproximação inicial do contorno.

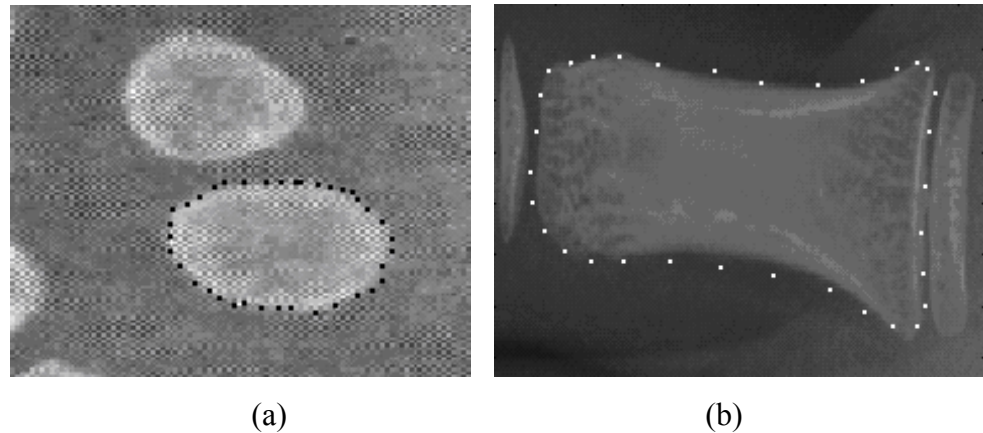


Figura 14: (a) Exemplo de segmentação utilizando *ASM*. (b) Exemplo de Segmentação utilizando *Snakes*. Fonte: Nopola et al. (2000).

A fim de automatizar o processo de extração de características, Pietka et al. (2001) apresentaram um método automático de segmentação e localização da região de interesse, com base nas falanges do terceiro dedo. Inicialmente o fundo é separado do tecido através de um *thresholding* adaptativo. Nos ruídos ainda existentes na imagem, particularmente entre as falanges, um procedimento matemático morfológico é aplicado utilizando a função erosão. Um elemento estruturante 3 x 3 foi utilizado para que os elementos presentes na imagem de igual ou menor dimensão fossem retirados.

As regiões de interesse a serem encontradas neste método são as metáfises, epífises da parte superior da diáfise das falanges distais, mediais e proximais, e dos metacarpos. O primeiro passo para extrair a região de interesse é analisar a imagem linha a linha para verificar a intensidade dos níveis de cinza para a localização os dedos.

A localização das separações das falanges é feita através de um método conhecido como projeção, ou assinatura horizontal (GASPAR, 2006), onde a variação da intensidade dos níveis de cinza é visualizada em um histograma (Figura 15 (b)), no qual uma linha traçada no centro das falanges é usada como referência, como mostra a Figura 15 (a).

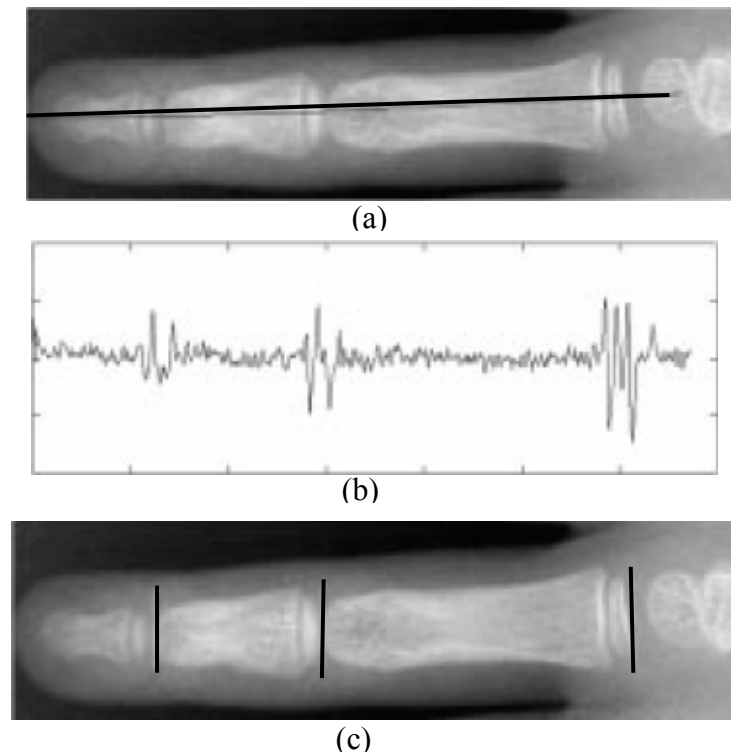


Figura 15: (a) Localização do centro das falanges. (b) Projeção horizontal através do histograma. (c) Localização automática das regiões de interesse. Fonte: Pietka et al. (2001).

As variações encontradas no histograma são as informações de localização das falanges, como mostra a Figura 15 (c). Como se pode observar, este método é funcional ao utilizá-lo para extração de características dimensionais.

3.4 Classificação

Um dos primeiros trabalhos na área de classificação da idade óssea foi o de Taani em 1996, o qual propôs uma metodologia para classificação da idade óssea pelo método de Tanner e Whitehouse, utilizando modelo de distribuição de pontos na segmentação. Este método consiste em duas fases: a fase de treinamento e classificação. Durante o treinamento exemplos de ossos de cada classe são coletados permitindo que cada forma de cada classe seja treinada, gerando então um modelo representando cada classe. Estes modelos são subsequentemente usados na classificação de novos exemplos de ossos. Durante a classificação todos os modelos são comparados a imagens de entrada e o objeto é classificado na classe cujo modelo é encontrado.

Niemeijer et al. (2003) também automatizaram o método de Tanner e Whitehouse (TW2), utilizando imagens médias para cada estágio correspondente. Um modelo de formato ativo (ASM) foi utilizado para segmentar a imagem, como mostra a Figura 16. A correlação entre as duas imagens é computada e o estágio correspondente do método TW2 é estimado através destes coeficientes de correlação.

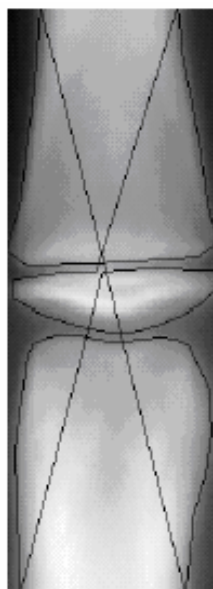


Figura 16: Imagem média do estágio F. Fonte: Niemeijer et al. (2003).

O método de Eklof & Ringertz foi automatizado por Olivete et al. (2005c), onde os centros de ossificação são medidos e suas dimensões são comparadas com as dimensões originais do Atlas armazenadas em um banco de dados. Para cada centro de ossificação é atribuída uma idade, no final uma média aritmética é obtida, resultando na idade óssea específica. Inicialmente os pontos dos centros de ossificação são marcados automaticamente, e caso haja algum ponto fora do centro de ossificação desejado, o usuário pode corrigir o erro movendo esse ponto com o auxílio do mouse. As distâncias entre os centros de ossificação são calculadas automaticamente.

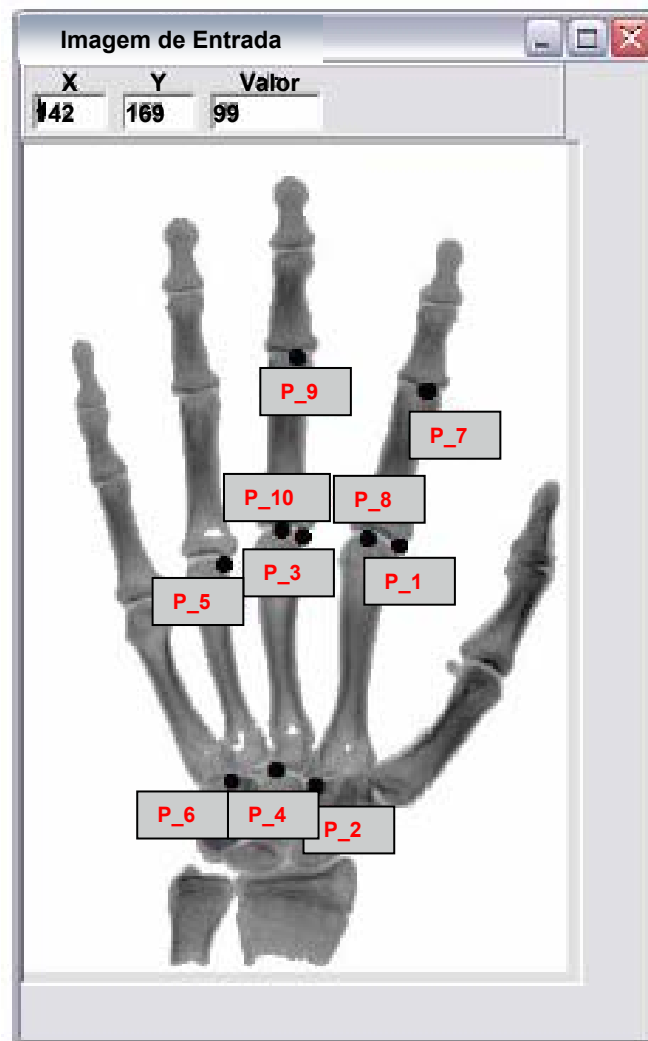


Figura 17: Marcação de pontos para a obtenção da idade óssea. Fonte: Olivete et al. (2005c).

Em 2005, Olivete et al.(2005d) propuseram uma simplificação do método de Eklof e Ringertz, reduzindo de 10 centros de ossificação para 5. A região do punho foi desprezada, sendo analisados somente os metacarpos e as falanges, facilitando assim a automatização. Os resultados apresentados foram satisfatórios quando comparados com o laudo do radiologista, obtendo uma taxa de acerto de 100% com um desvio padrão de 0.5 anos.

3.4.1 Sistemas *Fuzzy*

Os conjuntos *fuzzy* auxiliam no caminho de aproximar o raciocínio humano ao da lógica executada pela máquina. É descrito por uma função que designa graus de

pertinência entre zero e um aos seus membros. O elemento que possui grau de pertinência igual a zero não pertence ao conjunto, o que possui grau de pertinência entre zero e um pertence parcialmente, e o que possui grau de pertinência um, pertence totalmente ao conjunto (PRADO, 2004). Os conjuntos são rotulados qualitativamente de maneira lingüística.

As primeiras tentativas para alcançar a criação de um método automático para suporte ao trabalho dos radiologistas utilizando sistemas *fuzzy* foram relatadas por volta de 1980. Pathak, et al. (1983) fizeram uma proposta para solucionar o problema de classificação utilizando um método de classificador *fuzzy* para avaliação de idade óssea. A entrada para este classificador é um grupo de primitivas (como pontos, segmentos de retas, e curvas) as quais foram previamente extraídas de radiografia da mão e a saída é o estágio da maturidade esquelética de cada osso. Embora a classificação seja feita utilizando os estágios do método Tanner & Whitehouse, esta proposta não é uma implementação direta do próprio método; o uso de um grupo de primitivas baseado em fronteiras cria um “novo método de avaliação óssea”.

Em 1995 Pietka et al. descreveram um método baseado em uma análise independente das regiões falangeal e carpal. Um classificador *fuzzy* é então desenvolvido; assim ambas as regiões são analisadas independentemente, duas avaliações da idade óssea são obtidas, uma para a região carpal e outra para a região falangeal. A decisão final não é relatada pelo método, mais sim pelo radiologista.

Fernández et al. (2004) propuseram uma metodologia para traduzir as descrições do método original de Tanner e Whitehouse baseada em lógica *fuzzy*, e assim estimar a idade óssea usando um classificador automático, determinando os formatos específicos dos ossos analisados, diâmetros, características das epífises e características das interfaces ósseas. Não há necessidade de uma grande quantidade de dados para treinar o classificador, uma pequena quantidade de dados registrados é necessária para o direcionamento dos grupos usados para implementação da regra-base para cada modelo de cada centro de ossificação analisado.

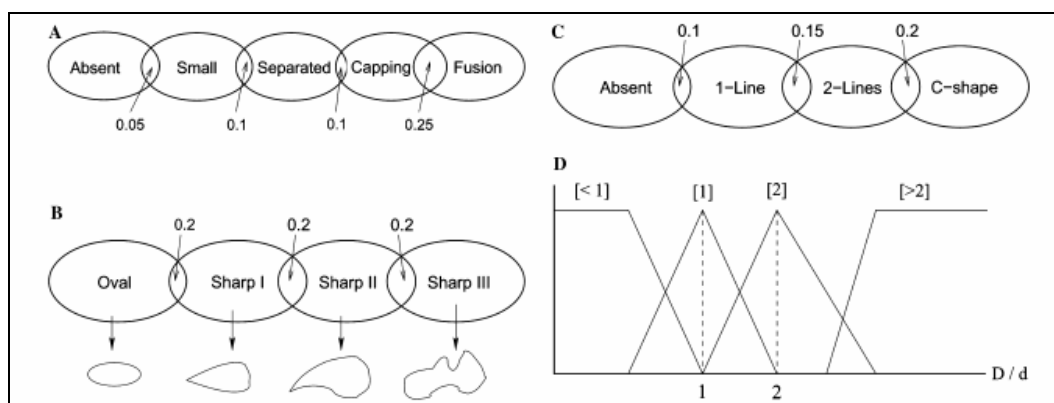


Figura 18: Exemplo do sistema de classificação e suas variáveis lingüísticas utilizadas. Fonte: Fernàndez et al. (2004)

Esse método possui um classificador específico para cada centro de ossificação, sendo que a idade final estimada é estabelecida de acordo com o estágio de desenvolvimento do centro de ossificação analisado, e não através da combinação de todos os centros, como no método TW2 tradicional. Foram analisadas 85 radiografias, e a taxa de acerto da terceira falange proximal foi de 95,3%.

3.4.2 Sistemas de redes neurais artificiais para classificação

Um método utilizando redes neurais artificiais para estimar a idade óssea foi desenvolvido utilizando a região carpal para a extração de características, onde primeiramente é feita a detecção de bordas e extração de características das regiões de interesse (FAN et al., 2001). Os dados de entrada da rede neural são as distâncias, as quais foram extraídas das regiões de interesse. Foi determinado um desvio padrão de 0.5 anos para mais ou para menos, resultando em uma taxa de acerto de 90% .

Outro trabalho que também utiliza redes neurais para classificar a idade óssea é o de Chang et al. em 2003. Este método extrai características dimensionais das falanges do dedo médio, onde a junção entre a falange distal e proximal são analisadas para que através destas informações possa ser avaliada a idade óssea. São comparadas as avaliações corretas das características morfológicas e fisiológicas. A rede neural aplicada foi a *perceptron* multicamadas com o algoritmo de aprendizagem *backpropagation* para o treinamento da rede, através das características extraídas das falanges. Foi utilizado um desvio padrão de 1.5 anos para mais ou para menos, e a taxa

de acerto foi de 83,86% dos 501 casos avaliados para o sexo feminino e de 79,05% dos 416 casos avaliados para o sexo masculino.

3.5 *Considerações Finais*

O objetivo deste Capítulo foi não só de apresentar alguns dos algoritmos de extração de características de imagens obtidas de radiografias da mão, como também de fornecer uma contribuição no que se refere ao estado da arte.

A técnica de segmentação e extração de características que se destacou pela simplicidade e facilidade na automatização foi a de projeção horizontal (Seção 3.3.1). Os sistemas que utilizaram redes neurais também se destacam por possuírem a característica de aprender através de exemplos e fornecerem um melhor resultado considerando um menor desvio padrão (Seção 3.3.2).

4 Redes Neurais Artificiais

4.1 Considerações iniciais

Neste capítulo, é realizada uma breve revisão dos conceitos sobre redes neurais artificiais, detalhando a arquitetura de rede neural perceptron multicamadas e o algoritmo de treinamento proposto por Levenberg-Marquardt.

4.2 Introdução

As redes neurais são modelos computacionais inspirados no cérebro humano, sendo capazes de adquirir e manter o conhecimento. Assim como no sistema nervoso humano, as redes neurais possuem um conjunto de unidades de processamento, onde cada unidade é chamada de neurônio, que são interligados por um grande número de interconexões através de sinapses. Embora os primeiros trabalhos desta área tenham sido publicados a mais de 50 anos atrás, sendo o primeiro proposto por McCulloch e Pitts (McCulloch & Pitts, 1943) esse campo começou a ser fortemente pesquisado a partir dos anos 80, por isso é normal que se diga que ainda é uma área nova.

Vários pesquisadores continuaram o trabalho de desenvolvimento de modelos matemáticos baseados no neurônio biológico, gerando uma série de topologias e algoritmos de aprendizado novos (ORTEGA, 2002).

Segundo Gaspar (2006), atualmente as principais aplicações das redes neurais artificiais são em:

- **Reconhecimento de padrões:** atribui um padrão de entrada a uma das várias classes predefinidas. Exemplo: reconhecimento de imagens, de voz e escrita, etc.;
- **Clustering / Categorização:** explora a semelhança entre padrões e agrupa padrões parecidos. Exemplo: compressão e garimpagem de dados, identificação de semelhanças, etc.;
- **Aproximação de funções:** encontra uma estimativa y de uma função desconhecida f . Exemplo: problemas de modelagem científica e de engenharia;
- **Previsão e Estimação:** dado um conjunto de exemplos $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)\}$, prever o valor $y(t_{n+1})$ no instante de tempo;
- **Otimização:** otimizar e maximizar uma função sujeita ou não a restrições. Exemplo: programação linear, programação não-linear, otimização combinatorial (telefonía para tráfego óptico), programação dinâmica;
- **Memórias associativas:** recuperar item correto mesmo que a entrada seja parcial ou distorcida. Exemplo: processamento de imagens, de gráficos, caracteres, etc.;
- **Controle:** gerar entrada de controle para que o sistema siga a trajetória especificada pela referência. Exemplo: controle de processos, de robôs, etc.

4.3 Neurônio biológico

O neurônio é a célula fundamental do sistema nervoso cerebral. Uma rede neural recebe continuamente informações, percebe-a e toma decisões apropriadas (HAIKIN, 2001). O processamento de informações no cérebro humano é altamente complexo, não-linear e paralelo.

Os neurônios são interligados através de sinapses, possuem uma estrutura composta por *dendritos*, que são as zonas receptivas, e o *axônio*, que tem a função de transmitir as informações (Figura 19).

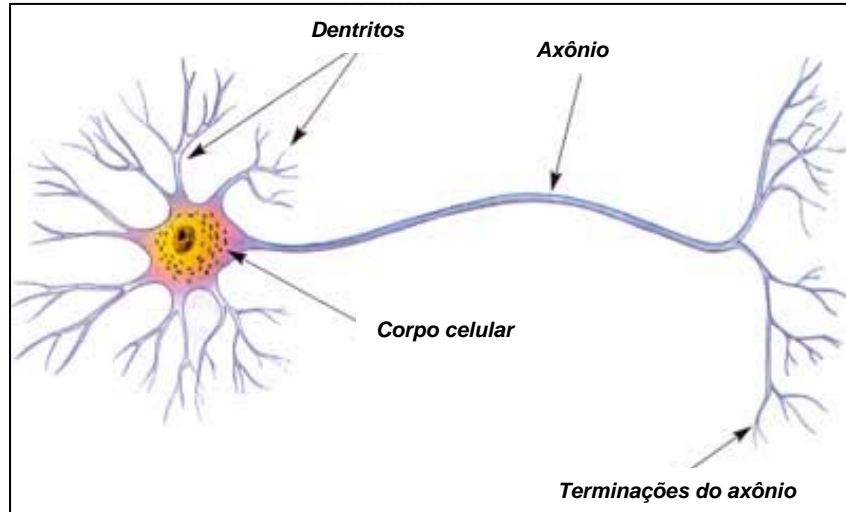


Figura 19: Modelo de um neurônio biológico. Fonte: www.isurp.com.br/aula/ciencia/Marcio/osistema.htm.

4.4 Modelo de um neurônio artificial

O neurônio é uma unidade de processamento fundamental para a rede neural (Figura 20). É composto de sinais de entrada x_j , elos de conexões ou sinapses, onde cada uma é caracterizada por um peso sináptico específico w_{kj} , um somador, que é responsável por efetuar a soma dos sinais de entrada, ponderados pelas respectivas *sinapses* do neurônio, também conhecido como combinador linear, a função de ativação, que no caso desta pesquisa é utilizada a função sigmóide (Figura 21), que tem por objetivo restringir o valor da saída de um neurônio, e o *bias* (b_k) que é um parâmetro externo do neurônio artificial k , pois permite uma melhor adaptação, por parte da rede neural, ao conhecimento a ela fornecido.

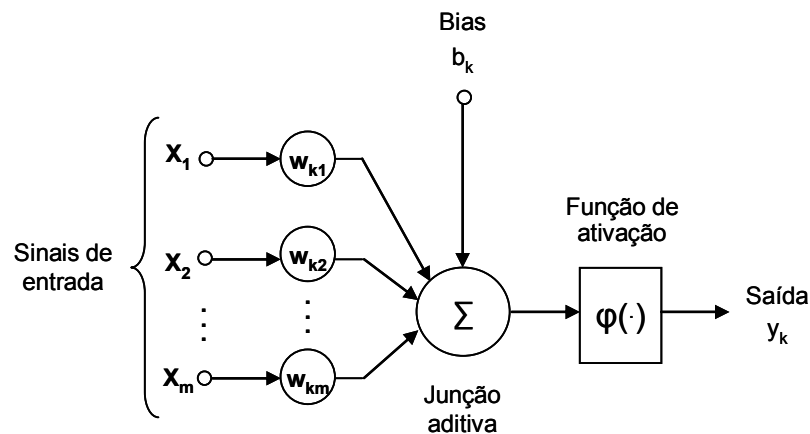


Figura 20: Modelo não-linear de um neurônio. Fonte: Haykin (2001).

Matematicamente, um neurônio é representado da seguinte maneira:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j \quad (3)$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k), \quad (4)$$

onde, u_k é a saída do combinador linear e y_k é o sinal de saída do neurônio.

As funções de ativação geralmente utilizadas são a sigmóide (Figura 21), onde as variáveis referentes às entradas da rede devem ser normalizadas para a faixa 0 e 1, e a tangente hiperbólica, onde devem ser normalizadas para a faixa -1 e 1 .

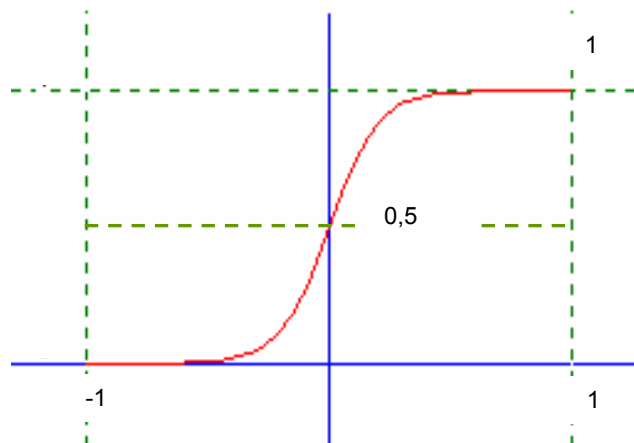


Figura 21: Função sigmóide

4.5 Topologias de redes neurais utilizadas

Um fator muito importante na utilização de redes neurais é a escolha da topologia da rede. A modelagem da topologia da rede está diretamente ligada à configuração das interligações entre os neurônios. Desta forma, a topologia da rede escolhida tem reflexos diretos nas características e propriedades apresentadas pelo modelo. A topologia também está intimamente ligada ao algoritmo de treinamento (ORTEGA, 2002).

Basicamente, a estrutura de uma rede neural artificial se divide em três partes (Figura 22), sendo a primeira a camada de entrada, onde inicialmente os padrões são apresentados na rede, a segunda parte são as camadas intermediárias ou ocultas, onde

quase todo o processamento da rede é realizado, e a terceira parte é a camada de saída, responsável pela apresentação do resultado apresentado alcançado.

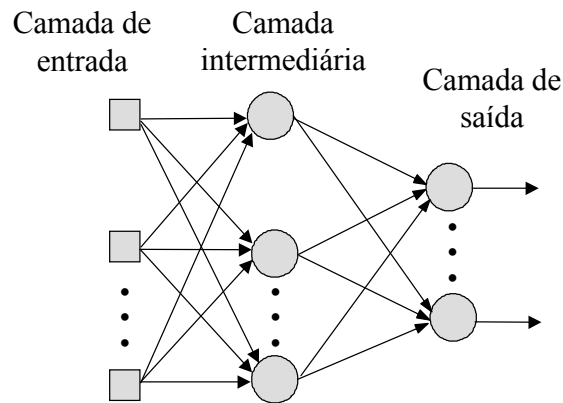


Figura 22: Representação das camadas de uma rede neural artificial. Fonte: ORTEGA (2002).

As principais arquiteturas de redes neurais artificiais são as seguintes:

- **redes *feedforward*** (camada única): possui uma camada de entrada e uma única camada de neurônios que é a camada de saída.
- **redes *feedforward*** (multicamadas): a qual será utilizada neste projeto, é similar à anterior, exceto pelo fato de que possui uma ou mais camadas ocultas de neurônios.
- **redes recorrentes**: são redes que contém retro-alimentação entre neurônios de camadas diferentes.
- **estrutura *Lattice*** (Self Organize Map (SOM)): é uma rede *feedforward* cujos neurônios são arranjados em linhas e colunas. Os sinais de entrada são os mesmos para todos os neurônios.

4.4 Processos de aprendizagem

O processo de aprendizagem, ou treinamento de uma rede neural, consiste em adaptar os parâmetros livres (pesos sinápticos) através de um processo de estimulação pelo ambiente no qual a rede está inserida. O tipo de aprendizagem é determinado pela

maneira pela qual a modificação dos parâmetros ocorre (HAKIN, 2001). Os tipos de treinamentos podem ser classificados em supervisionados e não supervisionados.

- Supervisionados: A rede é treinada para fornecer a saída desejada a um estímulo de entrada específico, ou seja, há o conhecimento sobre o ambiente, sendo este representado por um conjunto de exemplos de entrada-saída.

- Não supervisionado: Também conhecido como aprendizagem auto-organizada. Neste caso, não existe uma saída específica em relação aos estímulos de entrada. A rede se auto-organiza em relação às particularidades do conjunto de entrada.

Neste trabalho será utilizada uma rede supervisionada, pois existe o conhecimento da saída desejada na matriz de treinamento.

4.5 *Perceptron Multicamadas*

As redes perceptron multicamadas (PMC) são as mais utilizadas na classificação da idade óssea, devido a sua alta aplicabilidade em classificação de padrões e como aproximador universal de funções.

É composta por uma camada de entrada, uma ou mais camadas neurais escondidas e uma camada neural de saída, como ilustra a Figura 23(a).

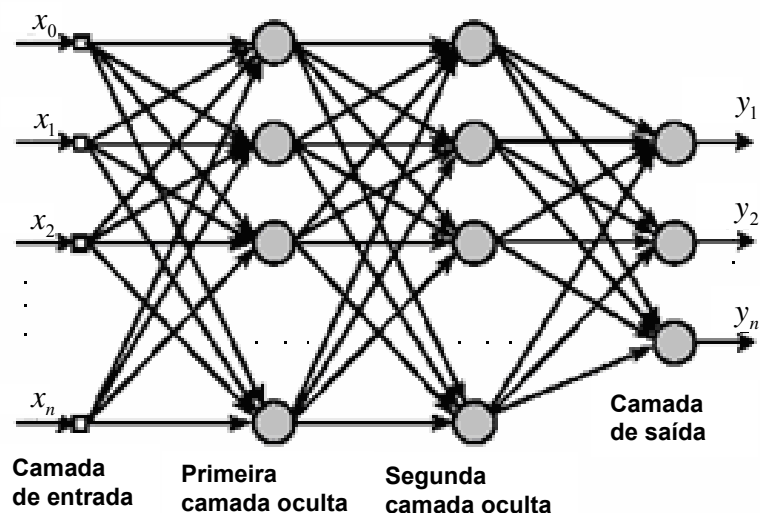


Figura 23: Rede neural multicamadas. (a) Arquitetura da rede. (b) Direção da propagação da função sinal. Fonte: Haykin (2001).

Em redes *Perceptrons* multicamadas, as “tarefas” são distribuídas através das camadas. Os estímulos ou sinais são apresentados à rede na camada de entrada. A camada intermediária extrai as informações e as codificam através dos pesos sinápticos, formando assim uma representação própria do ambiente externo. Finalmente, a camada de saída recebe os estímulos da camada intermediária, e mapeia o padrão de resposta que será a saída da rede (ORTEGA, 2002).

O algoritmo de treinamento usado nesta pesquisa é o de Levenberg-Marquardt (HAGAN e MENHAJ, 1994), o qual consiste em ajustar os pesos sinápticos e limiares de forma que a aplicação de um conjunto de entradas produza um conjunto de saídas desejadas. Ele apresenta um reduzido tempo de convergência e um baixo esforço computacional, pois é baseado em uma aproximação do método de Newton e a sua principal característica é a computação da matriz Jacobiana, como mostra a Equação 5:

$$\Delta \mathbf{z} = [\mathbf{J}^T(\mathbf{w}) \cdot \mathbf{J}(\mathbf{w}) + \mu \mathbf{I}]^{-1} \cdot \mathbf{J}^T(\mathbf{w}) \cdot e(\mathbf{w}) \quad (5)$$

onde o termo \mathbf{J} é a matriz Jacobiana, \mathbf{w} são os pesos sinápticos, μ é um parâmetro que ajusta a taxa de convergência, \mathbf{I} é a matriz identidade, e $e(\mathbf{w})$ é o vetor erro (em relação à matriz \mathbf{w}) referente aos p -padrões de treinamento.

4.6 Considerações finais

As redes neurais artificiais são modelos computacionais que auxiliam em tarefas de classificação e reconhecimento de um determinado conjunto de dados.

A característica de aprendizagem da rede torna ainda mais robusto o algoritmo para a classificação da idade óssea. A rede PMC é a mais utilizada, apresentando bons resultados, conforme foi mostrado no Capítulo 3.

5 Metodologia

5.1 *Considerações iniciais*

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada na implementação do algoritmo para estimação automática da idade óssea, usando redes neurais artificiais como método de classificação.

5.2 *Introdução*

Com base nas informações citadas anteriormente, o desenvolvimento de uma metodologia capaz de automatizar a estimação da idade óssea auxilia o radiologista em sua análise, servindo como uma segunda opinião na decisão final e diminuindo o tempo necessário para analisar todos os centros de ossificação.

Nesse sentido, com o emprego de redes neurais artificiais e de técnicas de processamento de imagens, investigamos as relações entre os centros de ossificação utilizados pelo método de Eklof & Ringertz tradicional e simplificado, proposto por Olivete et al. (2005d), e buscou-se também investigar a possibilidade de se reduzir ainda mais o número de centros de ossificação necessários para estimação da idade óssea.

5.3 *O Algoritmo*

O objetivo deste trabalho é desenvolver um algoritmo para estimar a idade óssea baseado no método de Eklof & Ringertz utilizando redes neurais. O algoritmo é composto por quatro partes, como mostra a Figura 24. A primeira consiste no pré-

processamento da imagem, com o objetivo principal de reduzir ruídos presentes na mesma. A segunda parte consiste na segmentação, onde as estruturas de interesse, ou seja, os centros de ossificação são destacados. Na terceira parte são extraídas as características que servirão como dados de entrada para a rede neural, a qual irá estimar a idade óssea automaticamente, compreendendo assim a quarta parte do processo.

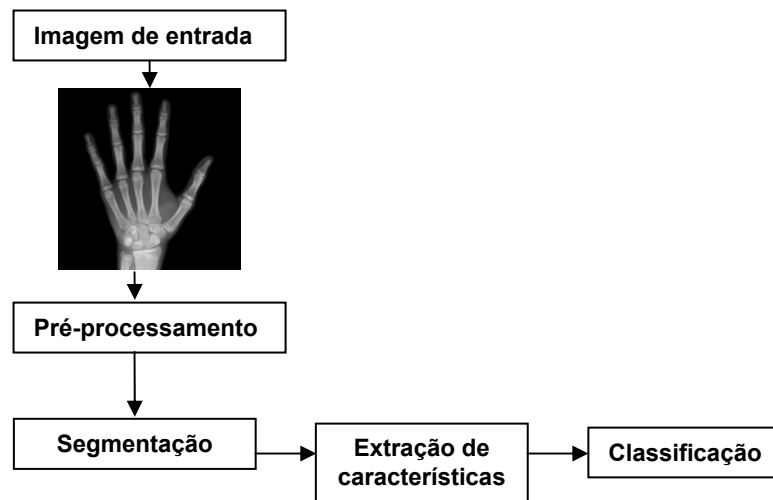


Figura 24: Etapas a serem desenvolvidas do algoritmo de classificação da idade óssea.

As imagens radiográficas foram obtidas em aparelho convencional de raios-X, utilizando valores padrão para esse procedimento, ou seja, tensão de 45 kV, corrente de 0.3 mA e distância foco-filme de 1 m, considerando ainda o feixe de raios-X dirigido perpendicularmente ao centro do filme. A digitalização foi feita em um scanner progressivo Kodak modelo LS-50 com resolução de 300 dpi. As imagens que compõem o banco de dados foram adquiridas de material radiográfico cedido pelo Prof. Dr. Orivaldo Tavano da faculdade de odontologia de Bauru (FOB-USP).

O banco de dados é composto por imagens da década de 70 e de 80, sendo estas separadas por sexo e por idade. Existem 153 imagens radiográficas do sexo feminino e 86 do sexo masculino da década de 70, 96 imagens femininas e 109 masculinas da década de 80, resultando em um total de 444 imagens. A idade dos pacientes está compreendida entre 5 e 18 anos. Este banco de dados está sendo construído no Departamento de Engenharia Elétrica da USP de São Carlos. Inicialmente as imagens foram padronizadas com 8 *bits/pixel* em escala de cinza, e redimensionadas com aproximadamente 400 x 500 *pixels*, conservando a razão de aspecto.

5.3.1 Pré-processamento

O pré-processamento é uma das etapas mais importantes no processamento de imagens radiográficas, onde estruturas indesejáveis podem aparecer na imagem, tanto no momento da aquisição, quanto na digitalização, dificultando assim a análise.

Nesta etapa, características como brilho e contraste também podem ser corrigidas, ruídos provenientes do espalhamento não uniforme do feixe de raio-X e adquiridos na digitalização da imagem podem ser retirados ou amenizados, e a imagem pode ser suavizada, de maneira que esses aspectos não interfiram na segmentação.

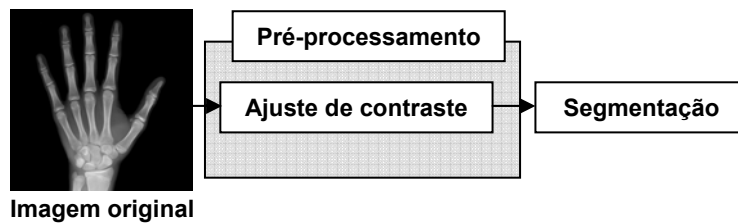


Figura 25: Diagrama de blocos do pré-processamento da imagem.

Conforme mostra a Figura 25, inicialmente é feita apenas a correção de contraste, utilizando uma taxa de 1,5.

A Figura 26 mostra a aplicação do contraste na imagem original.

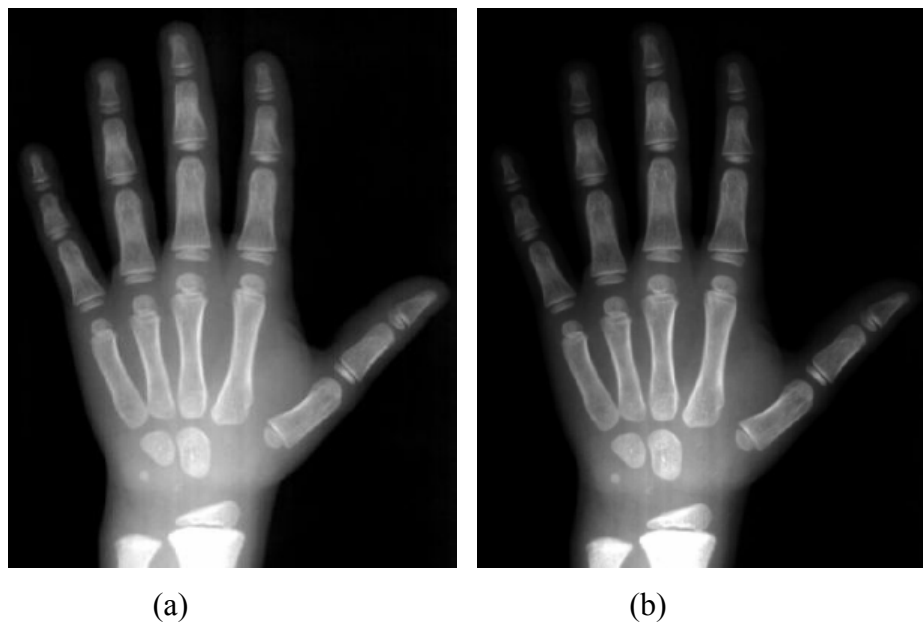


Figura 26: (a) Imagem original. (b) Imagem com o ajuste de contraste.

Como pode ser observado na Figura 26, a aplicação do ajuste de contraste diminui a intensidade dos *pixels* do tecido, de modo a auxiliar no próximo passo, o qual resulta no destaque das regiões de interesse.

5.3.2 Segmentação

O processo de segmentação de imagens radiográficas da mão consiste em isolar os ossos de interesse do restante da imagem, ou seja, inicialmente o fundo da imagem é removido, de modo que não interfira no processamento, e o tecido é removido, restando somente a região de interesse.

Nessa etapa são realizados quatro procedimentos principais, sendo que dois são combinações entre métodos de borrimento, como mostra a Figura 27: o borrimento da imagem, a subtração da imagem borrada com a imagem pré-processada, uma suavização, e a aplicação de um *thresholding* global para isolar o osso, culminando assim em uma imagem binarizada.

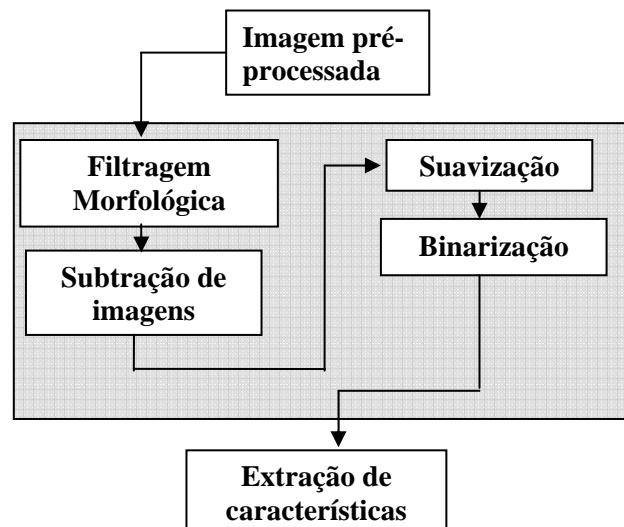


Figura 27: Diagrama de blocos da etapa de segmentação.

- **Filtragem Morfológica - Borrimento:** o borrimento é aplicado com a finalidade de diminuir a quantidade de ruídos presentes no fundo da imagem. Nesta etapa é aplicado inicialmente um procedimento morfológico de abertura sobre a imagem em escala de cinza, utilizando um elemento estruturante em forma de disco (GONZALES e WOODS, 1993), com dimensão de 15 *pixels*. A Figura 28 mostra o resultado da aplicação do borrimento da imagem pré-processada.



Figura 28: Aplicação do procedimento morfológico de abertura utilizando um elemento estruturante em forma de disco.

- **Subtração de imagens:** realiza-se a subtração entre a imagem pré-processada e a borrada, representadas respectivamente por $Original(x,y)$ e $Auxiliar(x,y)$, procedimento que atua também com um filtro, com abrangência distinta da fase de pré-processamento.

$$Resultante(x,y) = Auxiliar(x,y) - Original(x,y) \quad (6)$$

O resultado desta equação acima faz com que apenas as áreas que são distintas entre $Auxiliar(x,y)$ e $Original(x,y)$ sejam conservadas na imagem final como detalhe realçado, como mostra a Figura 29.



Figura 29: Aplicação da subtração de imagens.

Como pode ser observado na Figura 29, com a aplicação da subtração de imagens, os ossos já estão visivelmente separados do tecido e do fundo, os quais se encontram com a mesma intensidade de nível de cinza, ou seja, pretos.

- **Suavização:** trata-se de um método de filtragem aplicado às imagens, no sentido de se excluir os ruídos que ainda tenham permanecido nas mesmas após a etapa anterior. Nesta etapa, a suavização é aplicada após a subtração da imagem com a finalidade de diminuir a diferença entre a intensidade dos *pixels* presentes dentro dos ossos, como indicado na Figura 30(a), de modo que apresentem uma uniformidade. É feita uma combinação de técnicas, sendo aplicada inicialmente a média da vizinhança, e logo após a filtragem da mediana 5 x 5.

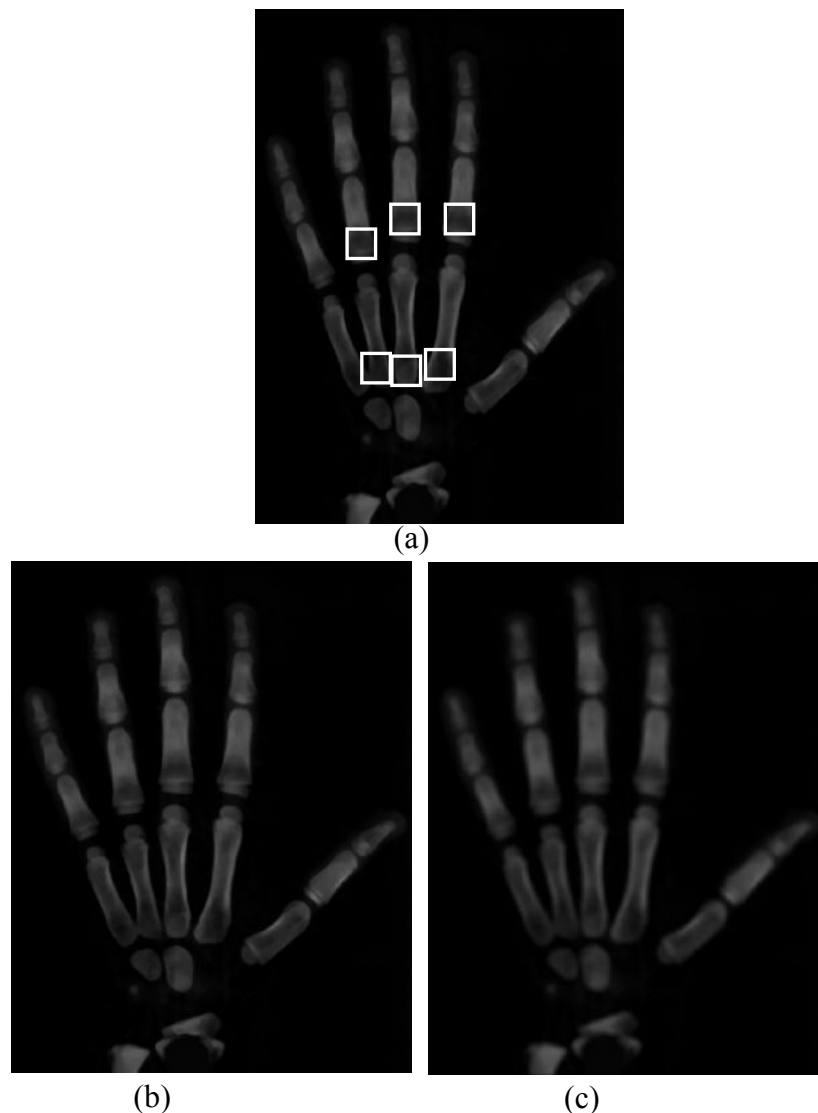


Figura 30: (a) Regiões com intensidades de *pixels* baixas. (b) Aplicação da média da vizinhança. (c) Aplicação da filtragem da mediana.

- **Binarização - Aplicação de *thresholding* global:** nesse modelo de procedimento, essa é uma das etapas mais importantes na segmentação. O método de Otsu, já testado em trabalhos anteriores Olivete et. al (2005a) e Olivete et. al (2005b), encontra o valor de limiar automaticamente, calculando a variância dos níveis de cinza entre as classes pertencentes à imagem e ao fundo, como mostra a Figura 31.



Figura 31: Aplicação do *thresholding* global de Otsu na imagem suavizada.

5.3.3 Extração de características

Para a classificação da idade óssea através do método de Eklof & Ringertz, esta etapa é responsável por extrair características das imagens, resultantes do processo de segmentação, através de descritores que permitam categorizar com precisão as dimensões dos ossos específicos. Nesse procedimento, a entrada é a imagem resultante do processo de segmentação, e a saída é um conjunto de dados correspondentes àquela imagem. Esse processo também é responsável por diminuir o número de dados de entrada para o processo de classificação.

A extração de características de forma automática de imagens radiográficas da mão é bastante prejudicada quando se trata da região do punho, conforme mostrado no Capítulo 3, devido à sobreposição de ossos. Porém utilizando-se o método de Eklof & Ringertz simplificado, proposto por Olivete et al. (2005d), onde essa região é

desprezada, este procedimento pode ser implementado de forma mais consistente, onde será mostrado a seguir.

Um método que se mostrou eficiente para encontrar essas características foi o de assinatura horizontal, conforme apresentado no Capítulo 3, porém é feita a localização prévia dos dedos analisados, no caso do método de Eklof & Ringertz simplificado. Para a localização dos dedos é feita uma varredura na imagem já binarizada até que o terceiro dedo seja encontrado e a sua posição seja armazenada. Depois de localizado o dedo médio, é feita a localização do segundo dedo, fazendo uma varredura a partir da posição encontrada pelo terceiro dedo para a direita, e ao executar uma varredura para a esquerda é localizada a posição do quarto dedo.



Figura 32: Localização inicial dos dedos.

Após a localização dos pontos iniciais, a primeira região de interesse é localizada, ou seja, do ponto inicial até o final da imagem, como mostra a Figura 33. Para que esta localização ocorra, essas posições iniciais são armazenadas e então utilizadas na imagem em nível de cinza onde foi aplicada a etapa de suavização. Inicialmente é feita uma nova correção de contraste, usando uma taxa de 0.55, pois a imagem suavizada encontra-se com uma intensidade de nível de cinza baixa, e um

limiar de intensidade de níveis de cinza de 60 é então estipulado para que seja feita uma busca através dos cinco *pixels* vizinhos da direita e da esquerda de cada dedo que obedeçam essa taxa, como mostra a Figura 33.

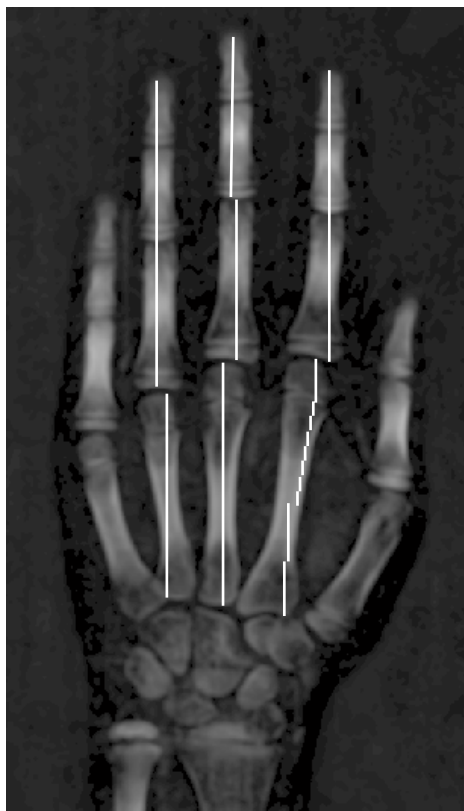


Figura 33: Localização das regiões de interesse.

Após a localização das regiões de interesse, é aplicada a assinatura horizontal, que será descrita a seguir.

5.3.3.1 Assinatura horizontal

A assinatura horizontal é utilizada para localizar a separação entre as falanges e metacarpos, através de uma análise do histograma, conforme foi apresentado no trabalho de Pietka (2001). Neste método os *pixels* do centro dos dedos selecionados são contados e armazenados em vetores onde estão contidos o número total de *pixels* de cada linha. Esses vetores são mostrados em um espectrograma para que sejam analisadas as posições onde estão localizadas as fronteiras entre as falanges e entre os metacarpos. Um vetor acumulador de *pixels* é gerado em cada falange e em cada metacarpo, que será utilizado pelo método de Eklof & Ringertz simplificado, para que assim seja possível o cálculo das dimensões das regiões de interesse.

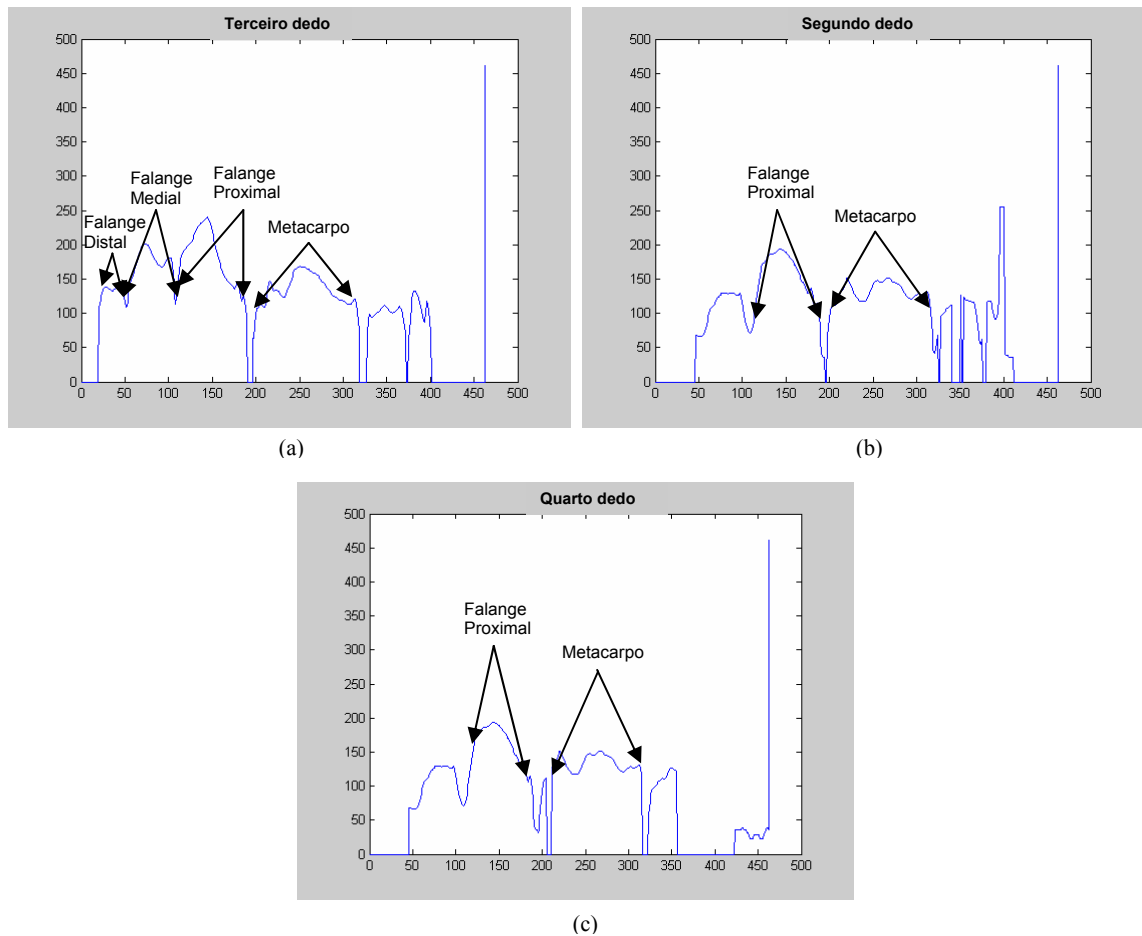


Figura 34: Assinatura horizontal das regiões de interesse. (a) Terceiro dedo. (b) Segundo dedo. (c) Quarto dedo.

Conforme ilustra a Figura 34, o eixo x corresponde ao número de linhas da imagem, o eixo y corresponde a intensidade de níveis de cinza. São visíveis as regiões das falanges e do metacarpo na Figura 34 (a), porém, na Figura 34 (b, c), é visível somente a região onde se encontra a falange proximal e o metacarpo, que são as regiões analisadas.

Para melhorar a visualização das regiões de interesse, foi aplicada a primeira derivada sobre a assinatura, como mostra a Figura 35. As regiões de mínimo são as separações entre os centros de ossificação, porém nota-se que a região mais visível é a do metacarpo, pois existe uma grande diferença na intensidade dos níveis da junção entre o metacarpo e a falange proximal e entre os ossos do carpo. Já na junção das falanges, não existe uma grande diferença de intensidade de níveis de cinza, mesmo assim é possível verificar a localização da falange proximal.

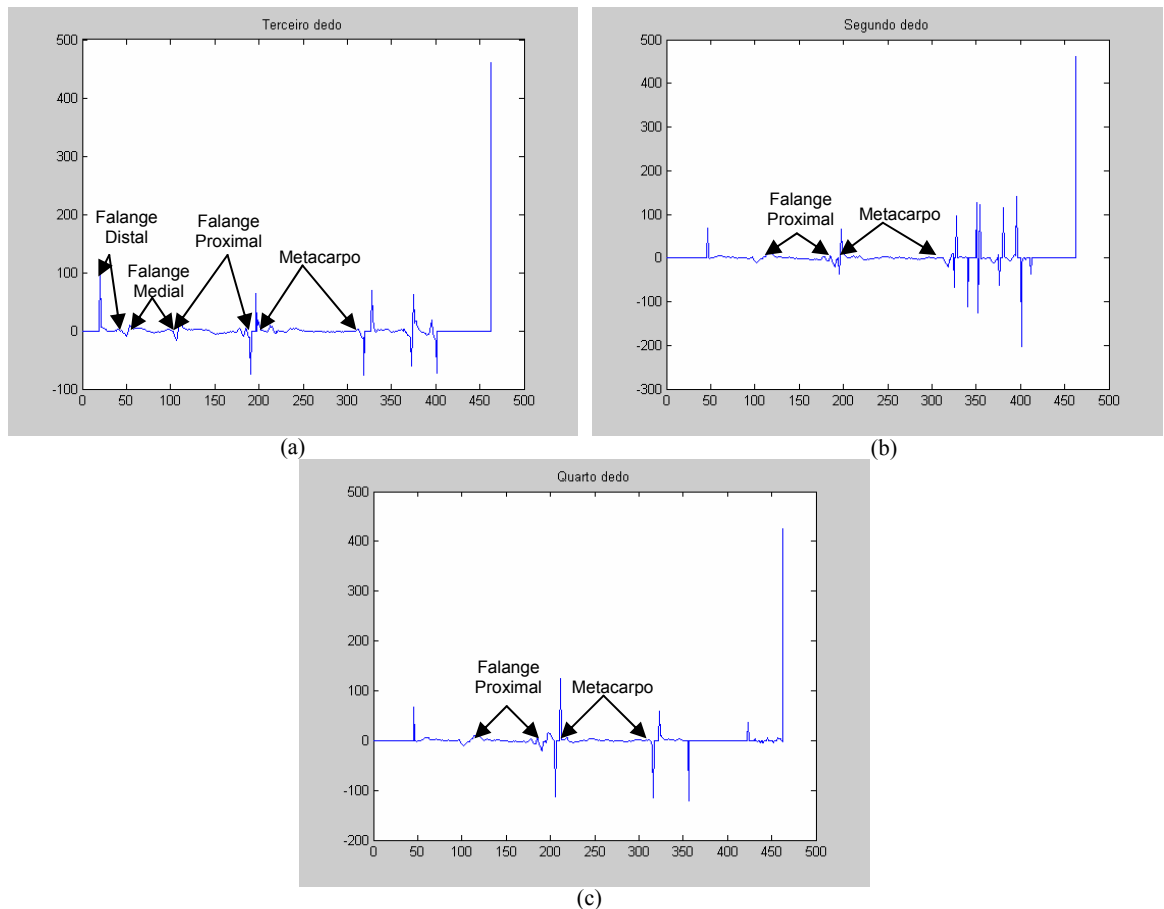


Figura 35: Aplicação da primeira derivada sobre a assinatura horizontal. (a) Terceiro dedo. (b) Segundo dedo. (c) Quarto dedo.

Assim como na Figura 34, o eixo x corresponde às linhas da imagem e o eixo y corresponde à intensidade de níveis de cinza resultantes da primeira derivada.

Após à localização dos vales, é realizada uma varredura, onde somente a falange proximal e o metacarpo são localizados e medidos, ou seja, os primeiros vales são ignorados pelo algoritmo. Tendo as posições iniciais e finais, é realizada a medida dos centros de ossificação.

Para a realização da extração de características do método completo de Eklof & Ringertz, foi criado um método semi-automático, onde o usuário seleciona os centros de ossificação a serem analisados com o auxílio do mouse, e a distância Euclidiana de cada centro de ossificação é calculada e armazenada automaticamente.

5.3.3.2 Distância Euclidiana

A Distância Euclidiana é um método clássico utilizado para medir distâncias entre vetores, sendo a distância D_e definida pela Equação 7:

$$D_e(x, y) = \sqrt{|(x_1 - x_2)^2 - (y_1 - y_2)^2|} \quad (7)$$

onde x e y representam respectivamente a linha e a coluna da matriz da imagem.

Nesta pesquisa, a Distância Euclidiana é utilizada para calcular a dimensão dos ossos analisados a partir do método de Eklof & Ringertz tradicional e simplificado.

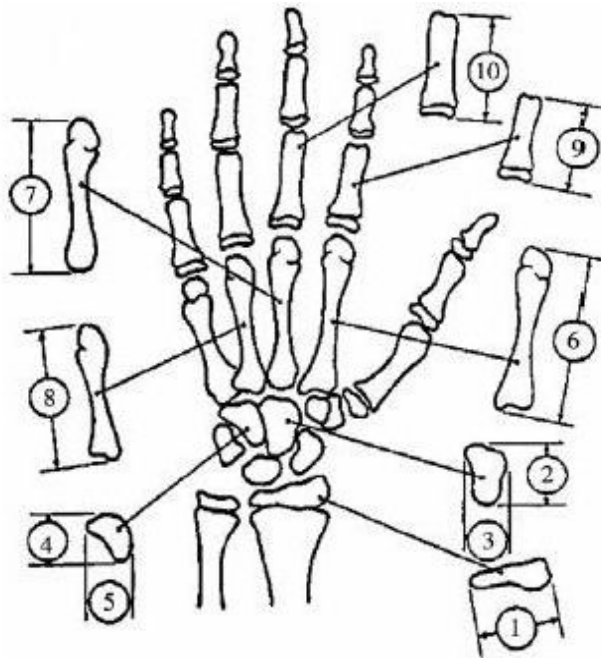


Figura 36: Dimensões analisadas pelo método tradicional.

Como ilustra a Figura 36, no método tradicional são calculadas as seguintes dimensões:

- Largura da epífise do rádio (1);
- Comprimento do capitato (2);
- Largura do capitato (3);
- Comprimento do trapézio (4);
- Largura do trapézio (5);
- Comprimento do segundo metacarpo (6);
- Comprimento do terceiro metacarpo (7);

- Comprimento do quarto metacarpo (8);
- Comprimento da falange proximal do dedo indicador (9);
- Comprimento da falange proximal do dedo médio (10).

No método simplificado a região carpal é excluída da análise por apresentar em várias fases do crescimento imagens com sobreposição de ossos, sendo assim, as dimensões analisadas são os metacarpos (6), (7), (8), e as falanges (9) e (10).

Essas características são usadas no processo de classificação como entrada para a rede neural.

5.3.4 Classificação

As redes neurais artificiais (RNAs) têm se apresentado ao longo dos anos como ferramentas poderosas no processo de classificação, reconhecimento de padrões ou como aproximadores universais de funções, ou seja, as redes identificam o padrão de entrada em categorias pré-definidas ou não (HAYKIN, 2001).

As redes perceptron multicamadas apresentam melhor aplicabilidade no processo de classificação devido ao seu processo de aprendizado supervisionado e a maneira com que os *clusters* são formados, conforme mostrado no Capítulo 4.

Para que a rede possa classificar através do método tradicional de Eklof & Ringertz, o conjunto de treinamento é composto pelos dados dimensionais deste Atlas, o qual apresenta dimensões de idades entre 1 e 15 anos. O mesmo é feito para o método simplificado.

Nesse trabalho, são utilizados os dados para a classificação apenas para as idades entre 5 e 15 anos, pois segundo especialistas, é a faixa etária que apresenta diferenças entre a idade óssea e a idade cronológica com maior frequência.

A rede neural é utilizada como um aproximador universal de funções, operando de modo que os novos dados de entrada possam ser classificados dentro do domínio de definição do conjunto de treinamento. Sua aprendizagem é supervisionada e o processo de validação cruzada é utilizado, onde o conjunto de dados é particionado em dois subconjuntos, o de treinamento e o de teste. A rede é composta por uma única saída, que estimará as idades de acordo com o conjunto de treinamento, como mostra a Figura 37.

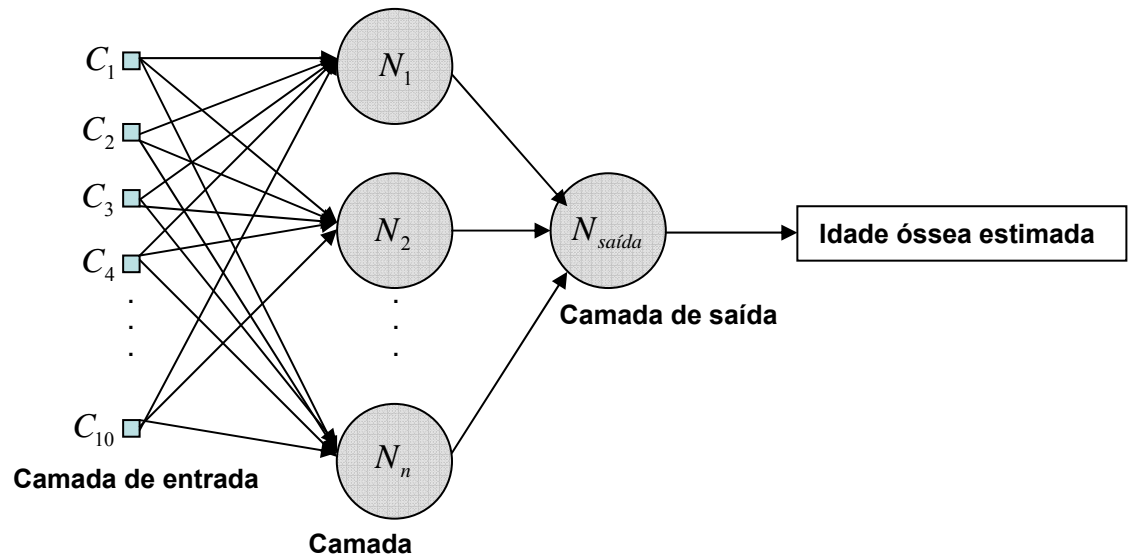


Figura 37: Rede neural proposta para a classificação da idade óssea.

5.3.5 Software de desenvolvimento

Para o desenvolvimento do algoritmo, foi utilizado o MATLAB (*Matrix Laboratory*) na versão 6.5, com os *toolbox* de processamento de imagens e redes neurais, pois comprovadamente é um ambiente de programação que permite o uso de uma linguagem de programação particular, com chamadas de funções de processamento de imagens e de redes neurais, fazendo com que o desenvolvimento do algoritmo e a análise dos resultados sejam realizados de maneira simples e eficiente.

5.4 Considerações finais

Neste Capítulo foi apresentada a metodologia desta pesquisa, a qual se baseia em uma combinação de métodos tradicionais de processamento de imagens e extração de características e o método de classificação proposto.

Como pode ser observado na Seção 5.3.2, é realizada uma combinação de métodos tradicionais de filtragem e binarização a fim de diminuir a quantidade de ruídos e realçar as estruturas de interesse, ou seja, os centros de ossificação. A utilização de assinatura horizontal para extração de características (Seção 5.3.3), auxilia na localização das posições dos centros de ossificação ao analisar os vales. O uso de redes

neurais artificiais (Seção 5.3.4) para estimar a idade óssea, auxilia e também facilita a identificação dos centros não relevantes para o processo de estimação da idade óssea.

6 Resultados e Discussões

6.1 Considerações iniciais

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e as discussões.

6.2 Resultados finais

O algoritmo foi avaliado utilizando o banco de dados citado na Seção 5.1. Primeiramente, os resultados são avaliados em duas etapas distintas: a de extração de características e a de classificação, que serão descritas a seguir. Para a realização dos testes foram utilizadas todas as 444 imagens do banco de dados para a etapa de extração de características e 88 para a etapa de classificação. As imagens utilizadas na etapa de classificação possuem laudos fornecidos por especialistas que se basearam no método de Eklof & Ringertz tradicional para realizar o procedimento de estimação da idade óssea.

6.2.1 Extração de características

No processo de extração de características, após a aplicação de todos os métodos já mencionados nas Seções 5.3.1 e 5.3.2, as imagens foram testadas. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos.

Tabela 1: Resultados da etapa de extração de características.

Centros de ossificação	Taxa de acerto
Falange proximal 2	91%
Falange proximal 3	98%
Metacarpo 2	89%
Metacarpo 3	97%
Metacarpo 4	64%

Como pode ser observado na tabela 1, os resultados do metacarpo 4 apresentaram um erro relativamente maior quando comparado com os outros resultados. Isso ocorre devido a pouca diferença de intensidade de níveis de cinza na parte inferior do metacarpo e de uma pequena sobreposição em direção ao metacarpo 5, como mostra a Figura 38. Isso resulta em uma coleta de informações que não coincide com o tamanho real do centro de ossificação.

O metacarpo 2 também apresentou resultados não muito satisfatórios quando comparado aos demais, isso ocorre devido à grande quantidade de tecido presente nesta região, o que dificulta a segmentação da imagem, além da mesma possuir uma baixa qualidade.

**Figura 38: Região do metacarpo 4 onde os níveis de cinza coincidem com o metacarpo 5.**

Um outro problema encontrado na extração de características foi na localização de centros de ossificação em imagens com idade óssea acima de 13 anos, o que também resultou no erro mostrado na Tabela 1. Nestes casos, as falanges e os metacarpos estão parcialmente unidos, resultando como no caso anterior, em regiões com a mesma intensidade de níveis de cinza.

Esta metodologia mostrou-se eficiente, pois mesmo com imagens de baixa qualidade e com inclinação nos dedos foi possível localizar as regiões de interesse e extrair as dimensões dos centros de ossificação, como mostra a Figura 39.



Figura 39: Localização automática das regiões de interesse em imagem de baixa qualidade e com inclinação nos dedos.

Como pode ser observado na Figura 39, mesmo com o fundo da imagem não sendo uniforme, existindo uma inclinação no terceiro dedo, e a intensidade dos níveis de cinza entre as falanges e metacarpos sendo relativamente pequena, foi possível localizar as regiões de interesse e extrair as informações necessárias de maneira correta.

Com base nas pesquisas mencionadas no Capítulo 3, os resultados apresentados na etapa de extração de características são satisfatórios, além de ser de baixo custo computacional e fácil implementação. Na maioria dos casos as características são extraídas de maneira semi-automática, quando como utilizada com o método de Eklof & Ringertz completo, ou então necessitando apenas de um ponto inicial para que a coleta de informações pudesse ser executada.

6.2.2 Estimação da idade óssea utilizando Redes Neurais Artificiais

Como mencionado na Seção 5.3.5, foi utilizada a rede neural perceptron multicamadas com o algoritmo de treinamento Levenberg-Marquardt. O algoritmo de treinamento *backpropagation* também foi testado, porém não apresentou um resultado satisfatório, pois o número de épocas necessárias à convergência resultou em valor muito elevado, além da curva de convergência não se aproximar do erro médio estipulado.

Para a estimativa da idade óssea foram testados dois métodos de classificação: o método completo de Eklof & Ringertz e o método simplificado, proposto por Olivete et al. (2005d). Para cada método foram testadas várias topologias, e estas treinadas várias vezes, a fim de selecionar a mais adequada, ou seja, a que possui a saída mais próxima à saída desejada, sendo esta a idade óssea fornecida pelo Atlas.

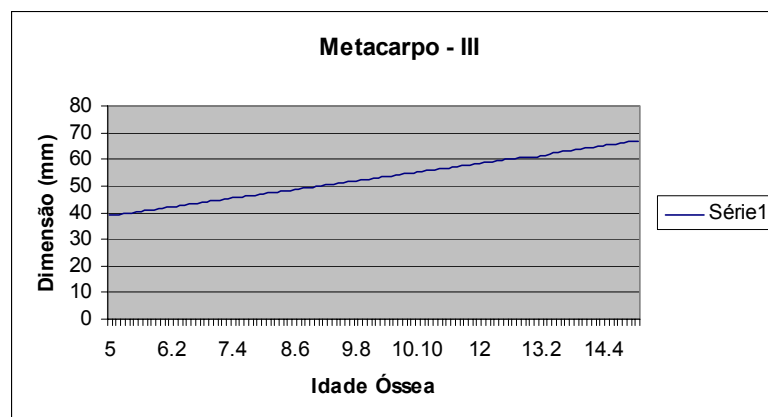
6.2.2.1 Estimação da idade óssea utilizando o método completo

A topologia e os parâmetros utilizados pela rede durante a fase de treinamento do método de Eklof & Ringertz completo foram os seguintes:

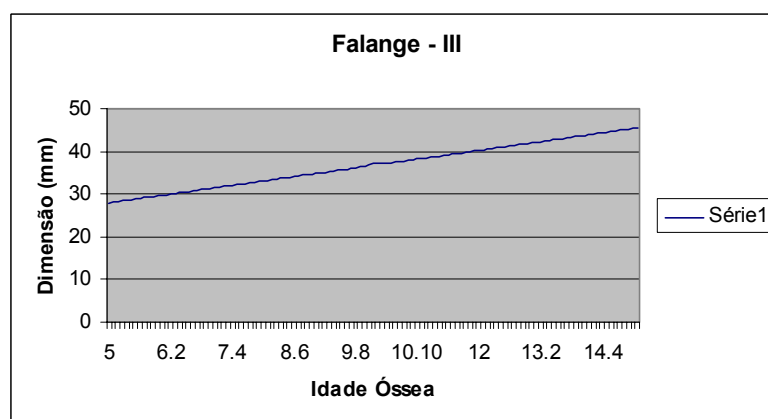
- **Topologia:** 10 entradas, 11 neurônios na primeira camada, 10 neurônios na segunda camada e 1 neurônio na camada de saída, estimando a idade entre 5 e 15 anos.
- **Matriz de pesos:** as matrizes de pesos foram reinicializadas randomicamente.
- **Função de ativação:** função sigmóide para as saídas dos neurônios das camadas ocultas e função tangente hiperbólica para a camada de saída da rede neural.
- **Taxa de aprendizagem:** 0.01.
- **Número de épocas de treinamento:** em média 31 épocas para os dados de cada sexo.
- **Erro quadrático médio:** 10^{-6} .

Foi realizado um treinamento utilizando no conjunto de dados as dimensões do Atlas de Eklof & Ringertz completo para o sexo masculino e outro para o sexo feminino, pois os dados variam de acordo com o sexo. Os dados de treinamento foram normalizados entre 0 e 1, devido ao tipo de função de ativação utilizada.

Para o treinamento da rede neural, o Atlas original foi expandido, devido à necessidade de uma maior quantidade de dados para o treinamento, pois os dados dimensionais para cada idade no Atlas original variam apenas a cada 3 meses. Verificando que o crescimento dos centros de ossificação é linear, como mostra a Figura 40, tanto para o sexo feminino quanto para o sexo masculino, é possível obter uma variação entre as idades a cada 1 mês, como mostram as Tabelas do Apêndice A.



(a)



(b)

Figura 40: Exemplos do crescimento linear dos centros de ossificação. (a) Crescimento do metacarpo III em relação à idade óssea. (b) Crescimento da falange III em relação à idade óssea.

A curva de convergência do treinamento da rede neural pelo método completo aproximou-se do erro médio quadrático, como pode ser visto na Figura 41.

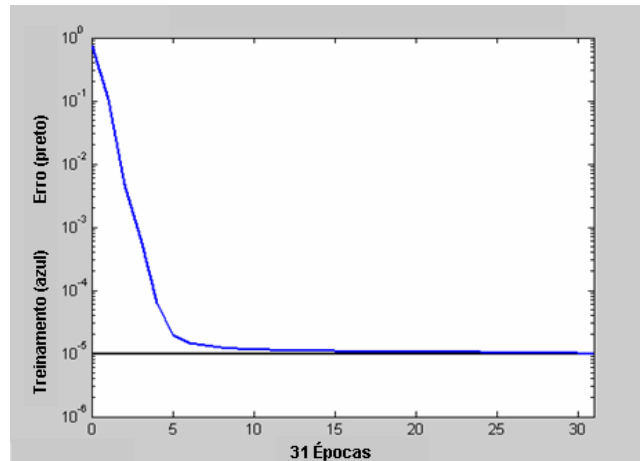


Figura 41: Curva de convergência da rede neural para os dados de treinamento do método completo.

Para a realização dos testes foram utilizadas dimensões de centros de ossificação de 44 imagens do sexo masculino e 44 do sexo feminino, todas laudadas por um médico especialista. Os resultados da classificação podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados de concordância da etapa de teste da rede neural utilizando o método completo de Eklof & Ringertz.

	Sexo Feminino	Sexo Masculino
Desvio padrão de 3 meses	81,81%	70,45%
Desvio padrão de 5 meses	100%	100%

Utilizando um desvio padrão de 3 meses para mais ou para menos, os resultados do sexo feminino apresentaram 81,81% de concordância com os laudos médicos. Para o sexo masculino a taxa de concordância foi um pouco mais baixa devido à baixa qualidade das imagens, o que dificultou a extração de características, gerando dados menos precisos para o teste da rede neural. Ao utilizar um desvio padrão de 5 meses para mais ou para menos a taxa de concordância é de 100% para ambos os sexos.

6.2.2.2 Estimação da idade óssea utilizando o método simplificado (proposto por Olivete et al. (2005d))

Para o treinamento da rede neural do método simplificado, os parâmetros são diferentes dos utilizados no método completo. Os dados da matriz de treinamento são os mesmos, exceto os centros de ossificação da região do punho que não são utilizados.

A topologia e os parâmetros utilizados foram os seguintes:

- **Topologia:** 5 entradas, 5 neurônios na primeira camada oculta, 2 neurônios na segunda camada oculta e 1 na camada de saída, estimando a idade de 5 a 15 anos.
- **Matriz de pesos:** as matrizes de pesos foram reinicializadas randomicamente.
- **Função de ativação:** função sigmóide para as saídas dos neurônios das camadas ocultas e para a camada de saída da rede neural.
- **Taxa de aprendizagem:** 0.001.
- **Número de épocas de treinamento:** em média 40 épocas para os dados de cada sexo.
- **Erro quadrático médio:** 10^{-6} .

Na matriz de teste, os dados dimensionais utilizados foram as características extraídas automaticamente que apresentaram a maior taxa de concordância, e as restantes foram as características extraídas de maneira semi-automática, assim como no método completo, a fim de minimizar possíveis erros na coleta de dados.

Como mostra a Figura 42, a curva de convergência aproximou-se do erro médio quadrático.

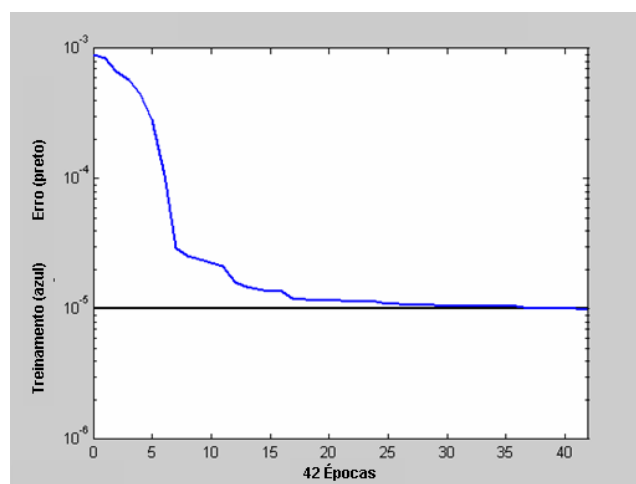


Figura 42: Curva de convergência da rede neural para os dados de treinamento do método simplificado.

A Tabela 3 mostra os resultados do teste da rede neural utilizando o método simplificado.

Tabela 3: Resultados de concordância da etapa de teste da rede neural utilizando o método simplificado de Eklof & Ringertz.

	Sexo Feminino	Sexo Masculino
Desvio padrão de 3 meses	84,09%	81,81%
Desvio padrão de 5 meses	100%	100%

Comparando este método com o anterior, a taxa de concordância para ambos os sexos aumentou. Isso ocorre porque existem centros de ossificação no método completo que acabam atrapalhando a análise, pois a região em que estão localizados dificulta a coleta das características dimensionais, gerando dados imprecisos.

Este resultado também mostra que determinadas regiões não são relevantes na análise, pois mesmo excluindo-as, a taxa de concordância foi elevada.

A fim de aumentar ainda mais a taxa de concordância, levando em consideração que existem centros de ossificação que influenciam negativamente na análise, novos treinamentos e testes com a rede neural foram realizados para determinar quais centros de ossificação são relevantes. Para cada teste um novo treinamento foi realizado, e combinações com menos centros de ossificação foram realizadas.

A exclusão do metacarpo 4 do método simplificado foi a combinação de centros de ossificação que gerou o resultado mais significativo, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Resultados da estimativa da idade óssea com quatro centros de ossificação.

	Sexo Feminino	Sexo Masculino
Desvio padrão de 3 meses	95,45%	95,00%
Desvio padrão de 5 meses	100%	100%

A Tabela 4 mostra a taxa de concordância da combinação de quatro centros de ossificação, e como se pode observar, a taxa de concordância do sexo masculino aproximou-se da taxa do sexo feminino. Isso ocorre devido à exclusão das dimensões que foram obtidas de maneira incorreta ou imprecisa, além do que mostram que efetivamente não influenciam na análise.

Um resultado bastante interessante foi obtido ao serem analisados os centros de ossificação de forma individual. De todos os possíveis, a falange proximal do dedo médio, como pode ser observado na Tabela 5, permitiu com apenas um centro de ossificação a possibilidade da estimação da idade óssea, porém utilizando-se um desvio padrão maior.

Tabela 5: Resultados da classificação da idade óssea com um centro de ossificação.

	Sexo Feminino	Sexo Masculino
Desvio padrão de 5 meses	52,30%	50,00%
Desvio padrão de 1 ano	100%	100%

Foram realizadas todas as combinações possíveis entre os centros de ossificação, com a finalidade de se minimizar a quantidade de centros de ossificação analisados, porém não apresentaram resultados significativos quando comparados ao método tradicional ou mesmo com o simplificado.

6.3 Considerações finais

Neste Capítulo foram apresentados os resultados da etapa de extração de características e da etapa de classificação. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios quando comparado aos métodos apresentados no Capítulo 3.

A etapa de extração de característica mostrou-se eficiente, pois mesmo em imagens de baixa qualidade foi possível localizar as regiões de interesse e extrair as dimensões dos centros de ossificação.

Os testes da etapa de classificação mostraram-se satisfatórios, pois a idade estimada corresponde à idade óssea estimada de acordo com o laudo médico. O uso das redes neurais artificiais foi importante ao se investigar e encontrar, principalmente, os centros de ossificação que não são relevantes na estimação da idade óssea, utilizando o método de Eklof & Ringertz completo, e de certa forma, endossando a idéia da simplificação do método, como proposto por Olivete et al. (2005d). Isso pode ser observado, conforme mostram os resultados da Seção 6.2.2.2, que ao se retirar um centro de ossificação do método simplificado, o quarto metacarpo, os resultados da classificação com a rede neural artificial foram ainda mais precisos.

7 Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros

7.1 Considerações iniciais

Neste Capítulo são apresentadas as conclusões finais e são sugeridas propostas para trabalhos futuros.

7.2 Conclusões

Nesta pesquisa foi implementado um algoritmo para estimar automaticamente a idade óssea utilizando redes neurais artificiais. O algoritmo é constituído por 4 módulos, pré-processamento, a segmentação, a extração de características e a classificação.

A combinação de métodos tradicionais de filtragem e *thresholding* nas etapas de pré-processamento e segmentação mostraram-se eficientes ao utilizar imagens radiográficas da mão de baixa qualidade.

Considerando os resultados e discussões apresentadas no Capítulo 6, conclui-se que a metodologia proposta para a extração automática de características da mão mostrou-se eficiente, devido à capacidade de localizar regiões de interesse e extrair a dimensão de centros de ossificação em imagens de baixa qualidade. Foi possível observar que mesmo em imagens que possuem inclinação nos dedos, o algoritmo foi capaz de localizá-los e extrair as informações dimensionais de maneira correta.

Ao utilizar as redes neurais artificiais é possível estimar a idade óssea de vários pacientes simultaneamente, auxiliando a análise do radiologista em grandes centros radiológicos, onde vários padrões de entrada podem ser testados, e o resultado na saída da rede é a idade óssea estimada.

O método de classificação proposto também obteve resultados satisfatórios, devido à facilidade de se acrescentar ou excluir centros de ossificação usados para estimar a idade óssea. Os resultados da estimação mostraram-se satisfatórios, pois com um desvio padrão de 3 meses para mais ou para menos, é possível estimar a idade óssea com uma taxa de acerto de 95%, excluindo-se um dos centros de ossificação do método simplificado que não beneficia a análise final.

7.3 Contribuições

De acordo com os resultados apresentados pode-se concluir que esta dissertação trouxe novas contribuições para a área de processamento de imagens médicas, instigando maiores explorações no desenvolvimento específico do tema.

As contribuições deste trabalho são as seguintes:

- A metodologia utilizada nas etapas de pré-processamento, segmentação e extração de características são simples (QUEIROZ et al, 2005a), eficientes, de baixo custo computacional e podem ser utilizadas em imagens de baixa qualidade.
- A aplicação do classificador utilizado para estimar a idade óssea através do método de Eklof & Ringertz é inédita, pois facilita a análise em grandes bancos de informações, e é capaz de classificar vários dados ao mesmo tempo com uma precisão bastante interessante (QUEIROZ et al, 2005b).
- A diminuição do número de centros de ossificação utilizados para analisar a idade óssea, melhorando a estimação final e diminuindo a quantidade de ossos a serem analisados pelo radiologista.
- A metodologia utilizada para extrair características automaticamente pode ser empregada em outros tipos de aplicações que possuam como informação de entrada imagens digitalizadas de filmes radiográficos de baixa qualidade.

7.4 Propostas para trabalhos futuros

As propostas para melhorias neste trabalho e sugestões para trabalhos futuros são:

- Desenvolvimento de um estudo comparativo com os resultados obtidos pela rede neural com os outros métodos de classificação da idade óssea utilizados (Greulich & Pyle, Tanner & Whitehouse).
- Estimar a idade óssea utilizando métodos de classificação, baseados em modelos (Greulich & Pyle, Tanner & Whitehouse), utilizando como entrada para a rede neural os *pixels* da própria imagem radiográfica.
- Desenvolvimento de um sistema híbrido, usando redes neurais e *fuzzy* na saída da rede neural para classificar a idade óssea com uma maior precisão.
- Avaliar a relação entre a velocidade de crescimento ósseo e a idade óssea estimada através da dimensão dos mesmos centros de ossificação utilizados para estimar a idade óssea e da fusão entre a epífise e a diáfise, utilizando a metodologia de extração de características empregada nesta pesquisa.
- Desenvolvimento de um sistema automático de extração de características capaz de calcular a área de um determinado centro de ossificação em imagens com baixa qualidade.

Referências Bibliográficas

ARTERO, A. O.; TOMMASELLI, A. M. G. (2002). “Extração de Feições Retas em Imagens Digitais: Adaptação e Avaliação de Diferentes Técnicas”. *Revista da Comissão Brasileira de Geodésia*, v.2.

AVANCINI, E. B.; FAVARETTO, J. A. (1997). Uma abordagem evolutiva e ecológica. Vol. 1. Ed. Moderna. São Paulo.

CHANG, C. H.; HSIEH, C. W.; JONG, T. L.; TIU, C. M. (2003). “A Fully Automatic Computerized Bone Age Assessment Procedure Based on Phalange Ossification Analysis”. *16th Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*.

EKLOF, O.; RINGERTZ, H. (1967). “A method for assessment of skeletal maturity”. *Annals Radiology*. vol. 10, pp 330-336.

ERICKSON, B. J.; BARTHOLMAI, B. (2001). “Computer-Aided Detection and Diagnosis at the Start of the Third Millennium”. *Journal of Digital Imaging*, vol. 15, n. 2.

FAN, B. C.; HSIEH, C. W.; JONG, T. L.; TIU, C. M. (2001). “Automatic bone age estimation based on carpal-bone image: a preliminary report”. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)*, Vol. 64, n. 4.

FERNÁNDEZ, S. A.; GARCÍA, R. L.; FRENÁNDEZ, M. A. M.; LÓPEZ, C. A. (2004). “A computational TW3 classifier for skeletal maturity assessment. A

Computing with Words approach”. *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 37, pp. 99-107.

GASPAR, T. L. (2006). *Reconhecimento de faces humanas usando redes neurais MLP*. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GREULICH, W.; PYLE, S. (1992). *Radiographic atlas of skeletal development of hand and wrist*, Stanford University Press, 2nd ed.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. (1993). *Digital Image Processing Techniques*. Addison Wesley, New York.

HAYKIN, S. (2001), *Redes Neurais: princípios e prática*, Editora Bookmam.

HAITER NETO, F.; ALMEIDA, S. M.; LEITE, C. C. (2000). “Estudo comparativo dos métodos de estimativa da idade óssea de Greulich & Tanner & Whitehouse”. *Pesquisa Odontológica Brasileira*, vol 14, nº 4, pp 378-384.

HOPFIELD, J. J. (1982). “Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities”, *Proceedings of National Academy of Sciences*, vol.79, pp.2554-2558.

KOHONEN, T. (1990). “Self-organizing maps”, *Proceedings of the IEEE*, vol.9, pp.1464-1480.

LONGUI, C. A. (2003). *Previsão da Estatura Final – Acertando no “Alvo”?*. Arquivo Brasileiro Endocrinológico e Metabólico, vol 74, nº 6.

MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. (1943). “A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity,” *Bull. Math. Biophys.*, vol. 5, pp. 115–133.

MICHAEL, D. J.; NELSON, A. C. (1989). “HANDX: a model based system for automatic segmentation of bones from digital hand radiographs”. *IEEE Transactions on*

Medical Imaging, vol. 8, n. 1.

NETTER, F. H. (1991). The Ciba Collection of Medical Illustrations Vol. 8. Musculoskeletal System, Part I: Anatomy, Physiology, and Metabolic Disorders. Icon Learning Systems.

NIEMEIJER, M.; GINNEKEN, B.; MASS, C. A.; BEEK, F. J. A.; VIEGEVER, M. A. (2003). "Assessing the Skeletal Age from a Hand Radiograph: Automating the Tanner-Whitehouse Method". *Medical Imaging*, Volume 5032, pp. 1197-1205

NOPOLA, T.; JÄRVI, A.; SVEDSTRÖM, E.; NEVELAINEN, O. (2000). *Segmenting bones from wrist-hand radiographs*. TUCS Technical Report No 371.

OLIVETE, C. J.; QUEIROZ, A. C.; RODRIGUES, E. L. L. (2005a). Metodologia para estimativa da idade óssea através da análise carpal simplificada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, 2005, Salvador. Disponível em: <<http://www.abfm.org.br/c2005/trabalhos/SPRD31.pdf>>. Acesso em 10 de fevereiro. 2006.

OLIVETE, C. J.; QUEIROZ, A. C.; RODRIGUES, E. L. L. (2005b). Comparação entre métodos de limiarização aplicados na extração de características de imagens carpais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, 2005, Salvador. Disponível em: <<http://www.abfm.org.br/c2005/trabalhos/SPRD30.pdf>>. Acesso em 18 de fevereiro. 2006.

OLIVETE, C. J.; QUEIROZ, A. C.; RODRIGUES, E. L. L. (2005c). Software automático para determinação da idade óssea baseado na simplificação do método de Eklof & Ringertz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, 2005, Salvador. <<http://www.abfm.org.br/c2005/trabalhos/Sord09.pdf>>. Acesso em 15 de fevereiro. 2006

OLIVETE, C. J.; QUEIROZ, A. C.; RODRIGUES, E. L. L. (2005d). Simplificação do método de Eklof & Ringertz para a estimativa da idade óssea através da análise de

imagens radiográficas da mão. In: V WORKSHOP DE INFORMÁTICA MÉDICA, 2005 Porto Alegre. CD-ROM.

ORTEGA, A. V. (2002). *Implementação de sistemas inteligentes para dimensionamento de leds hi-bright em equipamentos automotivos*. Dissertação (mestrado), Faculdade de Engenharia da Unesp, Bauru.

O SISTEMA NERVOSO. Disponível em:

<<http://www.isurp.com.br/aula/ciencia/Marcio/osistema.htm>>. Acesso em: 07 agosto. 2005.

OTSU, N. (1997). "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms". In: *IEEE Transactions on Systems Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62-66.

PATHAK, A.; PAL. S.; HING, R. (1983). "Syntactic recognition of skeletal maturity". *IEEE Transactions System Man. Cybern.* SMC, Vol. 1, pp 141-146.

PIETKA, E.; GRAY, M.; F.; M.; KUO, M.; L.; HUANG, H.; K. (1991). "Computer-Assisted Phalangeal Analysis in Skeletal Age Assessment". *IEEE Transactions on Medical Imaging* Vol. 10, nº. 4.

PIETKA, E. (1995). "Computer-assisted bone age assessment based on features automatically extracted from a hand radiograph". *Elsevier Science*, Vol, 19, n. 3.

PIETKA, E.; GERTYCH, A.; POSPIECH, S.; CAO, F.; HUANG, H. K.; GILSANZ, V. (2001). "Computer-Assisted Bone Age Assessment: Image Preprocessing and Epiphyseal/Metaphyseal ROI Extraction". *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 20, n. 8.

PRADO, J. L. (2004). *Investigação biométrica em imagens digitais para detecção de faces humanas através da proporção divina*. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

QUEIROZ, A. C.; GASPAR, T. L.; OLIVETE, C. J.; AFFONSO, F. J. RODRIGUES, E. L. L. (2005a). “Metodologia para extração de características automáticas da mão usando assinatura vertical”. *I Workshop de Visão Computacional*, Piracicaba, pp. 60-63.

QUEIROZ, A. C.; OLIVETE, C. J. AFFONSO, F. J. RODRIGUES, E. L. L. (2005b). “Estimação da idade óssea baseada no método de Eklof & Ringertz usando redes neurais artificiais”. *II Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas*, São Pedro. 1 CD-ROM.

TAANI, A. T. A. (1996). “Classification of hand bones for age assessment”. *Electronics, Circuits, and Systems, 1996. ICECS '96., Proceedings of the third IEEE International Conference on*, Vol.2, pp 1088-1091

TANNER, J.; WHITEHOUSE, R.; CAMERON, N.; MARSHOLL, W.; HEALY, M.; GOLDSTEIN, H. (1975). *Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method)*, Academic Press, London, 2nd ed.

TANNER, J. M.; WHITEHOUSE, R. W.; HEALVY (1959). *A New System for Estimating Skeletal Maturity from Hand and Wrist, with Standarts Derived From a Study Of 2600 Healthy British Children*. Department of Growth and Development Institute of Child Health, University of London; and Department of Statistics, Rothamsted Experimental Station, Harpenden.

TAVANO, O. (2001). *Radiografias Carpal e Cefalométrica como Estimadores da Idade Óssea e do Crescimento e Desenvolvimento*, Bauru – Brasil.

ZEFERINO, A. M. B.; BARROS Fº, A. A.; BETTIOL, H.; BARBIERI, M. A. (2003). “Acompanhamento do crescimento”, *Jornal de Pediatria*, vol 79, supl. 1.

Apêndice A: Atlas de Eklof & Ringertz

Tabela 1-A: Cópia original sueca do índice de Eklof & Ringertz para o sexo feminino.

Idade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	3.4 12.7	4.5 11.8	3.4 8.3	2.8 8.7	3.3 7.8	22.5 36.2	20.7 34.4	18.6 31.2	14.8 23.1	16.5 25.4
1.25	3.9 13.2	4.8 12.1	3.6 8.5	3.1 9.0	3.5 8.0	23.2 36.9	21.4 35.1	19.2 31.8	15.2 23.5	16.9 25.9
1.50	4.4 13.6	5.1 12.4	3.8 8.7	3.3 9.3	3.7 8.2	24.0 37.7	22.1 35.8	19.8 32.4	15.6 23.9	17.3 26.3
1.75	4.8 14.1	5.4 12.7	3.9 8.8	3.6 9.5	3.9 8.4	24.7 38.4	22.8 36.5	20.4 33.0	16.0 33.0	16.0 24.3
2.00	5.0 14.5	5.7 13.0	4.1 9.0	3.9 9.8	4.1 8.6	25.5 39.2	23.5 37.2	21.0 33.6	16.4 24.7	18.2 27.2
2.25	5.7 15.0	6.0 13.3	4.3 9.2	4.1 10.0	4.3 8.8	26.2 39.9	24.2 37.9	21.6 34.2	16.0 25.1	18.7 27.6
2.50	6.2 15.4	6.3 13.4	4.5 9.4	4.4 10.3	4.5 9.0	26.9 40.7	24.9 38.6	22.2 34.8	17.2 25.5	19.1 28.1
2.75	6.6 15.9	6.6 13.9	4.7 9.5	4.6 10.6	4.7 9.2	27.7 41.4	25.6 39.3	22.8 35.4	17.5 25.9	19.5 28.5
3.00	7.1 16.4	6.9 14.2	4.8 9.7	4.9 10.8	4.9 9.4	28.4 42.1	26.3 40.0	23.4 35.9	17.9 26.3	20.0 28.9
3.25	7.5 16.3	7.2 14.5	5.0 9.9	5.2 11.1	5.1 9.6	29.2 42.9	27.0 40.7	24.0 36.5	18.3 26.6	20.4 29.4
3.50	8.0 17.3	7.5 14.8	5.2 10.1	5.4 11.4	5.3 9.8	29.9 43.6	27.7 41.4	24.6 37.1	18.7 27.0	20.9 29.8
3.75	8.5 17.7	7.8 15.1	5.4 10.2	5.7 11.6	5.5 10.0	30.7 44.4	28.4 42.1	25.1 37.7	19.1 27.4	21.3 30.3
4.00	8.9 18.2	8.1 15.4	5.5 10.4	6.0 11.9	5.7 10.2	31.4 45.1	29.1 42.8	25.8 38.3	19.5 27.8	21.7 30.7
4.25	9.4 18.6	8.4 15.7	5.7 10.6	6.2 12.1	5.9 10.4	32.2 45.9	29.8 43.5	26.4 38.9	19.9 28.2	22.2 31.1
4.50	9.8 19.1	8.7 16.0	5.9 10.8	6.5 12.4	6.1 10.6	32.9 46.6	30.6 44.2	27.0 39.5	20.3 28.6	22.6 31.6
4.75	10.3 19.5	9.0 16.3	6.1 10.9	6.8 12.7	6.3 10.8	33.6 47.3	31.3 44.9	27.6 40.1	20.7 29.0	23.0 32.0
5.00	10.7 20.0	9.3 16.6	6.3 11.1	7.0 12.9	6.5 11.0	34.4 48.1	32.0 45.6	28.2 40.7	21.1 29.4	23.5 32.4
5.25	11.2 20.4	9.6 16.9	6.4 11.3	7.3 13.2	6.7 11.2	35.1 48.8	32.7 46.3	28.8 41.3	21.5 29.8	23.9 32.9
5.50	11.7 20.9	9.9 17.2	6.6 11.5	7.5 13.5	6.9 11.4	35.9 49.6	33.4 47.0	29.4 41.9	21.9 30.2	24.4 33.3
5.75	12.1 21.4	10.2 17.4	6.8 11.7	7.8 13.7	7.1 11.6	36.6 50.3	34.1 47.7	30.0 42.5	22.3 30.6	24.8 33.8
6.00	12.6 21.8	10.5 17.7	7.0 11.8	8.1 14.0	7.3 11.8	37.4 51.1	34.8 48.5	30.6 43.1	22.7 31.0	25.2 34.2
6.25	13.0 22.3	10.8 18.0	7.1 12.0	8.3 14.2	7.5 12.0	38.1 51.8	35.5 49.2	31.2 43.7	23.1 31.4	25.7 34.6
6.50	13.5 22.7	11.1 18.3	7.3 12.2	8.6 14.5	7.7 12.2	38.9 52.5	36.2 49.9	31.8 44.3	23.5 31.8	26.1 35.1
6.75	13.9 23.2	11.4 18.6	7.5 12.4	8.9 14.8	7.9 12.4	39.6 53.3	36.9 50.6	32.4 44.9	23.9 32.2	26.6 35.5
7.00	14.4 23.6	11.7 18.9	7.7 12.5	9.1 15.0	8.1 12.6	40.3 54.0	37.6 51.3	33.0 45.5	24.3 32.6	27.0 36.0
7.25	14.8 24.1	12.0 19.2	7.8 12.7	9.4 15.3	8.3 12.8	41.1 54.8	38.3 52.0	33.6 46.1	24.7 33.0	27.4 36.4
7.50	15.3 24.5	12.3 19.5	8.0 12.9	9.6 15.6	8.5 13.0	41.8 55.5	39.0 52.7	34.2 46.7	25.0 33.3	27.9 36.8
7.75	15.8 25.0	12.6 19.8	8.2 13.1	9.9 15.8	8.7 13.2	42.6 56.3	39.7 53.4	34.8 47.3	25.4 33.7	28.3 37.3
8.00	16.2 25.5	12.9 20.1	8.4 13.2	10.2 16.1	8.9 13.4	43.3 57.0	40.4 54.1	35.4 47.9	25.8 34.1	28.7 37.7
8.25	16.7 25.9	13.2 20.4	8.6 13.4	10.4 16.2	9.1 13.6	44.1 57.7	41.1 54.8	36.0 48.5	26.2 34.5	29.2 38.1
8.50	17.1 26.4	13.5 20.7	8.7 13.6	10.7 16.6	9.3 13.8	44.8 58.5	41.8 55.5	36.6 49.1	26.6 34.9	29.6 38.6
8.75	17.6 26.8	13.8 21.0	8.9 13.8	11.0 16.9	9.5 14.0	45.5 59.2	42.5 56.2	37.2 49.7	27.0 35.3	30.1 39.0
9.00	18.0 27.3	14.1 21.3	9.1 13.9	11.2 17.1	9.7 14.2	46.3 60.0	43.2 56.9	37.8 50.3	27.4 35.7	30.5 39.5
9.25	18.5 27.7	14.4 21.6	9.3 14.1	11.5 17.4	9.9 14.4	47.0 60.7	43.9 57.6	38.4 50.9	27.8 36.1	30.9 39.9
9.50	18.9 28.2	14.7 21.9	9.4 14.3	11.7 17.7	10.1 14.6	47.8 61.5	44.6 58.3	39.0 51.5	28.2 36.5	31.4 40.3
9.75	19.4 28.6	15.0 22.2	9.6 14.5	12.0 17.9	13.3 14.8	48.5 62.2	45.3 59.0	39.6 52.1	28.6 36.9	31.8 40.8
10.00	19.9 29.1	15.3 22.5	9.8 14.7	12.3 18.2	10.5 15.0	49.3 63.0	46.0 59.7	40.2 52.7	29.0 37.3	32.3 41.2
10.25	20.3 29.6	15.6 22.8	10.0 14.8	12.5 18.4	10.7 15.2	50.0 63.7	46.7 60.4	40.8 53.3	29.4 37.7	32.7 41.7
10.50	20.8 30.0	15.9 23.1	10.1 15.0	12.8 18.7	10.9 15.4	50.7 64.4	47.4 61.1	41.4 53.9	29.8 38.1	33.1 42.1
10.75	21.2 30.5	16.2 23.4	10.3 15.2	13.1 19.0	11.1 15.6	51.5 65.2	48.1 61.8	42.0 54.5	30.2 38.5	33.6 42.5
11.00	21.7 30.9	16.5 23.7	10.5 15.4	13.3 19.2	11.3 15.8	52.2 65.9	48.8 62.5	42.6 55.1	30.6 38.9	34.0 43.0
11.25	22.1 31.4	16.8 24.0	10.7 15.5	13.6 19.5	11.5 16.0	53.0 66.7	49.5 63.2	43.2 55.7	31.0 39.3	34.4 43.4
11.50	22.6 31.8	17.1 24.3	10.8 15.7	13.8 19.8	11.7 16.2	53.7 67.4	50.2 63.9	43.8 56.3	31.4 39.7	34.9 43.8
11.75	23.0 32.3	17.4 24.6	11.0 15.9	14.1 20.0	11.9 16.4	54.5 68.2	50.9 64.5	44.5 56.9	31.7 40.0	35.3 44.3
12.00	23.5 32.7	17.7 24.9	11.2 16.1	14.4 20.3	12.1 16.6	55.2 68.9	51.6 65.3	45.0 57.5	32.1 40.4	35.8 44.7
12.25	23.9 33.2	17.9 25.2	11.4 16.2	14.6 20.5	12.3 16.8	55.9 69.6	52.3 66.0	45.6 58.1	32.5 40.8	36.2 45.2
12.50	24.4 33.7	18.2 25.5	11.6 16.4	14.9 20.8	12.5 17.0	56.7 70.4	53.0 66.7	46.2 58.7	32.9 41.2	36.6 45.6
12.75	24.9 34.6	18.5 25.8	11.7 16.6	15.1 21.1	12.7 17.2	57.4 71.1	53.7 67.4	46.7 59.3	33.3 41.6	37.1 46.0
13.00	25.3 34.6	18.8 26.1	11.9 16.8	15.4 21.3	12.9 17.4	58.2 71.9	54.4 68.1	47.3 59.9	33.7 42.0	37.5 46.5
13.25	25.8 35.0	19.1 26.4	12.1 17.0	15.7 21.6	13.1 17.6	58.9 72.6	55.2 68.8	47.9 60.5	34.1 42.4	37.9 46.9
13.50	26.2 35.5	19.4 26.7	12.3 17.1	15.9 21.9	13.3 17.8	59.7 73.4	55.9 69.6	48.5 61.1	34.5 42.8	38.4 47.4
13.75	26.7 35.9	19.7 27.0	12.4 17.3	16.2 22.1	13.5 18.0	60.4 74.1	56.6 70.3	49.1 61.7	34.9 43.2	38.8 47.8
14.00	27.1 36.4	20.0 27.3	12.6 17.5	16.5 22.4	13.7 18.2	61.1 74.9	57.3 71.0	49.7 62.3	35.3 43.6	39.3 48.2
14.25	27.6 36.9	20.3 27.6	12.8 17.7	16.7 22.6	13.9 18.4	61.9 75.6	58.0 71.7	50.3 62.9	35.7 44.0	39.7 48.7
14.50	28.0 37.3	20.6 27.9	13.0 17.8	17.0 22.9	14.1 18.6	62.6 76.3	58.7 72.4	50.9 63.5	36.1 44.4	40.1 49.1
14.75	28.5 37.8	20.9 28.2	13.1 18.0	17.2 23.2	14.3 18.8	63.4 77.1	59.4 73.1	51.5 64.1	36.5 44.8	40.6 49.6
15.00	28.9 38.2	21.2 28.5	13.3 18.2	17.5 23.4	14.5 19.0	64.1 77.8	60.1 73.8	52.1 64.7	35.9 45.2	41.0 50.0

Tabela 2-A: Cópia original sueca do índice de Eklof & Ringertz para o sexo masculino.

Idade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	1.5 12.2	3.7 11.1	3.1 8.0	2.0 8.2	2.8 7.4	21.3 36.2	19.0 33.9	17.1 30.4	13.524.1	15.2 26.7
1.25	2.0 12.7	4.1 11.4	3.3 8.2	2.2 8.4	3.0 7.6	22.0 37.0	19.7 34.6	17.7 31.0	13.9 24.5	15.6 27.1
1.50	2.5 13.2	4.4 11.8	3.5 8.4	2.5 8.7	3.2 7.8	22.7 37.7	20.5 35.3	18.4 31.6	14.3 24.9	16.0 27.5
1.75	3.0 13.7	4.7 12.1	3.7 8.6	2.8 9.0	3.4 8.1	23.5 38.4	21.2 36.1	19.0 32.3	14.7 25.3	16.5 27.9
2.00	3.5 14.2	5.1 12.4	3.9 8.8	3.1 9.3	3.6 8.3	24.2 39.2	21.9 36.8	19.6 32.9	15.1 25.7	16.9 28.4
2.25	4.0 14.7	5.4 12.8	4.1 9.0	3.4 9.6	3.8 8.5	25.0 39.9	22.6 37.5	20.2 33.5	15.5 26.1	17.3 28.8
2.50	4.5 15.2	5.7 13.1	4.3 9.2	3.6 9.8	4.1 8.7	25.7 40.7	23.3 38.2	20.9 34.1	15.8 26.4	17.8 29.2
2.75	5.0 15.7	6.1 13.4	4.5 9.4	3.9 10.1	4.3 8.9	26.4 41.4	24.1 38.9	21.5 34.0	16.2 26.8	18.2 29.6
3.00	5.5 16.2	6.4 13.7	4.7 9.6	4.2 10.4	4.5 9.1	27.2 42.1	24.8 39.6	22.1 35.4	16.6 27.2	18.6 30.1
3.25	6.0 16.7	6.7 14.1	4.9 9.8	4.5 10.7	4.7 9.4	27.9 42.9	25.5 40.4	22.7 36.0	17.0 27.6	19.0 30.5
3.50	6. 17.2	7.1 14.4	5.0 10.0	4.8 11.0	4.9 9.6	28.7 43.6	26.2 41.1	23.4 36.6	17.4 28.0	19.5 30.9
3.75	7.0 17.7	7.4 14.7	5.2 10.1	5.0 11.2	5.2 9.8	29.4 44.4	26.9 41.0	24.0 37.3	17.8 28.3	19.9 31.3
4.00	7.5 18.2	7.7 15.1	5.4 10.3	5.3 11.5	5.4 10.0	30.2 45.1	27.6 42.5	24.6 37.9	10.1 28.7	20.3 31.8
4.25	8.0 18.7	8.1 15.4	5.6 10.5	5.6 11.8	5.6 10.2	30.9 45.8	28.4 43.2	25.2 38.5	18.5 29.1	20.7 32.2
4.50	8.5 19.2	8.4 15.7	5.8 10.7	5.9 12.1	5.8 10.4	31.6 46.6	29.1 43.9	25.9 39.1	18.9 29.5	21.2 32.6
4.75	9.0 19.7	8.7 16.1	6.0 10.9	6.2 12.4	6.0 10.7	32.4 47.3	29.8 44.7	26.5 39.8	19.3 29.9	21.6 33.0
5.00	9.5 20.2	9.1 16.4	6.2 11.1	6.5 12.6	6.2 10.9	33.1 48.1	30.5 45.4	27.1 40.4	19.7 30.3	22.0 33.5
5.25	10.0 20.7	9.4 16.7	6.4 11.3	6.7 12.9	6.5 11.1	33.9 48.8	31.2 46.1	27.7 41.0	20.1 30.6	22.5 33.9
5.50	10.5 21.2	9.7 17.1	6.6 11.5	7.0 13.2	6.7 11.3	34.6 49.5	32.0 46.8	28.4 41.6	20.4 31.0	22.9 34.3
5.75	11.0 21.7	10.1 17.4	6.8 11.7	7.3 13.5	6.9 11.5	35.3 50.3	32.7 47.5	29.0 42.3	20.8 31.4	23.3 34.8
6.00	11.5 22.2	10.4 17.7	7.0 11.9	7.6 13.8	7.1 11.7	36.1 51.0	33.4 48.3	29.6 42.9	21.2 31.8	23.7 35.2
6.25	12.0 22.7	10.7 18.0	7.2 12.1	7.9 14.4	7.3 12.0	36.8 51.8	34.1 49.0	30.2 43.5	21.6 32.2	24.2 35.6
6.50	12.5 23.2	11.0 18.4	7.3 12.2	8.1 14.3	7.5 12.2	37.6 52.5	34.8 49.7	30.9 44.1	22.0 32.5	24.6 36.0
6.75	13.0 23.7	11.4 18.7	7.5 12.4	8.4 14.6	7.8 12.4	38.3 53.2	35.6 50.4	31.5 44.8	22.4 32.9	25.0 36.5
7.00	13.4 24.2	11.7 19.0	7.7 12.6	8.7 14.9	8.0 12.6	39.1 54.0	36.3 51.1	32.1 45.4	22.7 33.3	25.4 36.9
7.25	13.9 24.7	12.0 19.4	7.9 12.8	9.0 15.2	8.2 12.8	39.8 54.7	37.0 51.8	32.7 46.0	23.1 33.7	25.9 37.3
7.50	14.4 25.2	12.4 19.7	8.1 13.0	9.3 15.4	8.4 13.0	40.5 55.5	37.7 52.6	33.4 46.6	23.5 34.1	26.3 37.7
7.75	14.9 25.7	12.7 20.0	8.3 13.2	9.5 15.7	8.6 13.3	41.3 56.2	38.4 53.3	34.0 47.3	23.9 34.5	26.7 38.2
8.00	15.4 26.2	13.0 20.4	8.5 13.4	9.8 16.0	8.8 13.5	42.0 56.9	39.1 54.0	34.6 47.9	24.3 34.8	27.2 38.6
8.25	15.9 26.7	13.4 20.7	8.7 13.6	10.1 16.3	9.1 13.7	42.8 57.7	39.9 54.7	35.2 48.5	24.7 35.2	27.6 39.0
8.50	16.4 27.2	13.7 21.0	8.9 13.8	10.4 16.6	9.3 13.9	43.5 58.4	40.6 55.4	35.9 49.1	25.0 35.6	28.0 39.4
8.75	16.9 27.7	14.0 21.4	9.1 14.0	10.7 16.8	9.5 14.1	44.2 59.2	41.3 56.1	36.5 49.8	25.4 36.0	28.4 39.9
9.00	17.4 28.2	14.4 21.7	9.3 14.2	10.9 17.1	9.7 14.3	45.0 59.9	42.0 56.9	37.1 50.4	25.8 36.4	28.9 40.3
9.25	17.9 28.7	14.7 22.0	9.5 14.4	11.2 17.4	9.9 14.6	45.7 60.7	42.7 57.6	37.7 51.0	25.2 36.8	29.3 40.7
9.50	18.4 29.2	15.0 22.4	9.6 14.6	11.5 17.7	10.2 14.8	46.5 61.4	43.4 58.3	38.4 51.6	26.6 37.1	29.7 41.2
9.75	18.9 29.7	15.4 22.7	9.8 14.7	11.8 18.0	10.5 15.0	47.2 62.1	44.2 59.0	39.0 52.3	27.0 38.5	30.1 41.6
10.00	19.4 30.2	15.7 23.0	10.0 14.9	12.1 18.2	10.6 15.2	47.9 62.9	44.9 59.7	39.6 52.9	27.3 37.9	30.6 42.0
10.25	19.9 30.7	16.0 23.3	10.2 15.1	12.3 18.5	10.8 15.4	48.7 63.6	45.6 60.5	40.2 53.5	27.7 30.3	31.0 42.4
10.50	20.4 31.2	16.3 23.7	10.4 15.3	12.6 18.8	11.0 15.6	49.4 64.4	46.3 61.2	40.9 54.1	28.1 38.7	31.4 42.9
10.75	20.9 31.7	16.7 24.0	10.6 15.5	12.9 19.1	11.2 15.9	50.2 65.1	47.0 61.9	41.5 54.8	28.5 39.1	31.8 40.8
11.00	21.4 32.2	17.0 24.3	10.8 15.7	13.2 19.4	11.5 16.1	50.9 65.8	47.8 62.6	42.1 55.4	28.9 39.4	32.3 43.7
11.25	21.9 32.6	17.3 24.7	11.0 15.9	13.5 19.6	11.7 16.3	51.6 66.6	48.5 63.3	42.7 56.0	29.2 39.8	32.7 44.1
11.50	22.4 33.1	17.7 25.0	11.2 16.1	13.7 19.9	11.9 16.5	52.4 67.3	49.2 64.0	43.4 56.6	29.6 40.2	33.1 44.6
11.75	22.9 33.6	18.0 25.3	11.4 16.3	14.0 20.2	12.1 16.7	53.1 68.1	49.9 64.8	44.0 57.3	30.0 40.6	33.5 45.0
12.00	23.4 34.1	18.3 25.7	11.6 16.5	14.3 20.5	12.3 17.0	53.9 68.9	50.6 65.5	44.6 57.9	30.4 41.0	34.0 45.5
12.25	23.9 34.6	18.7 26.0	11.8 16.7	14.6 20.8	12.5 17.2	54.6 69.6	51.3 66.2	45.2 58.5	30.0 41.4	34.4 45.9
12.50	24.4 35.1	19.0 26.3	11.9 16.9	14.9 21.0	12.8 17.4	55.4 70.3	52.1 66.9	45.9 59.1	31.2 41.7	34.8 46.3
12.75	24.9 35.6	19.3 26.7	12.1 17.0	15.1 21.3	13.0 17.6	56.1 71.0	52.8 67.6	46.5 59.8	31.5 42.1	35.3 46.7
13.00	25.4 36.1	19.7 27.0	12.3 17.2	15.4 21.6	13.2 17.8	56.8 71.8	50.5 68.4	47.1 60.4	31.9 42.5	35.7 47.1
13.25	25.9 36.6	20.0 27.3	12.5 17.4	15.7 21.9	13.4 18.0	57.6 72.5	54.2 69.1	47.7 61.0	32.3 42.9	36.1 47.6
13.50	26.4 37.1	20.3 27.7	12.7 17.6	16.0 22.5	13.6 18.3	58.3 73.3	54.9 69.5	48.4 61.7	32.7 43.3	36.5 48.0
13.75	26.9 37.6	20.6 28.8	12.9 17.8	16.3 22.4	13.8 18.5	59.1 74.0	55.6 70.5	49.0 62.3	33.1 43.7	37.0 48.4
14.00	27.4 38.1	21.0 28.3	13.1 18.0	16.5 22.7	14.1 18.7	59.8 74.7	56.4 71.2	49.6 62.9	33.4 44.0	37.4 48.8
14.25	27.9 38.6	21.3 28.7	13.3 18.2	16.8 23.0	14.3 18.9	60.5 75.5	57.1 72.0	50.2 63.5	33.8 44.4	37.8 49.3
14.50	28.4 39.1	21.6 29.0	13.5 18.4	17.1 23.3	14.5 19.1	61.3 76.2	57.8 72.7	50.9 64.2	34.2 44.8	38.2 49.7
14.75	28.9 39.6	22.0 29.3	13.7 18.6	17.4 23.6	14.7 19.3	62.0 77.0	58.5 73.4	51.5 64.8	34.6 45.2	38.7 50.1
15.00	29.4 40.1	22.3 29.6	13.9 18.8	17.7 23.9	14.9 19.6	62.7 77.7	59.2 74.1	52.1 65.4	35.0 45.6	39.1 50.6

Para a construção do Atlas expandido foi feita a média entre os pontos máximos e mínimos de cada centro de ossificação e encontrado os valores intermediários entre cada idade óssea, como mostra a Tabela 3-A.

Tabela 3-A: Atlas expandido de Eklof & Ringertz para o sexo feminino.

Idade Óssea	Radio	Capitato		hamato		metacarpo			falange	
		comp.	larg.	comp.	larg.	II	III	IV	II	III
5 anos	15,35	12,95	8,7	9,95	8,75	41,25	38,8	34,45	25,25	27,95
5 anos e 1 mês	15,57	13,05	8,75	10	8,82	41,48	39,03	34,65	25,38	28,1
5 anos e 2 meses	15,78	13,15	8,8	10,15	8,88	41,72	39,27	34,85	25,52	28,25
5 anos e 3 meses	16	13,25	8,85	10,25	8,95	41,95	39,5	35,05	25,65	28,4
5 anos e 4 meses	16,1	13,35	8,92	10,33	9,02	42,22	39,73	35,25	25,78	28,55
5 anos e 5 meses	16,2	13,45	8,98	10,42	9,08	42,48	39,97	35,45	25,92	28,7
5 anos e 6 meses	16,3	13,55	9,05	10,5	9,15	42,75	40,2	35,65	26,05	28,85
5 anos e 7 meses	16,45	13,62	9,12	10,58	9,22	42,98	40,43	35,85	26,18	29
5 anos e 8 meses	16,6	13,68	9,18	10,67	9,28	43,22	40,67	36,05	26,32	29,15
5 anos e 9 meses	16,75	13,75	9,25	10,75	9,35	43,45	40,9	36,25	26,45	29,3
5 anos e 10 meses	16,9	13,87	9,3	10,85	9,42	43,72	41,15	36,45	26,58	29,43
5 anos e 11 meses	17,05	13,98	9,35	10,95	9,45	43,98	41,4	36,65	26,72	29,57
6 anos	17,2	14,1	9,4	11,05	9,55	44,25	41,65	36,85	26,85	29,7
6 anos e 1 mês	17,35	14,2	9,45	11,12	9,62	44,48	41,88	37,05	26,98	29,85
6 anos e 2 meses	17,5	14,3	9,5	11,18	9,68	44,72	42,12	37,25	27,12	30
6 anos e 3 meses	17,65	14,4	9,55	11,25	9,75	44,95	42,35	37,45	27,25	30,15
6 anos e 4 meses	17,8	14,5	9,62	11,33	9,82	45,2	42,58	37,65	27,38	30,3
6 anos e 5 meses	17,95	14,6	9,68	11,42	9,88	45,45	42,82	37,85	27,52	30,45
6 anos e 6 meses	18,1	14,7	9,75	11,5	9,95	45,7	43,05	38,05	27,65	30,6
6 anos e 7 meses	18,25	14,8	9,82	11,62	10,02	45,95	43,28	38,25	27,78	30,75
6 anos e 8 meses	18,4	14,9	9,88	11,73	10,08	46,24	43,52	38,45	27,92	30,9
6 anos e 9 meses	18,55	15	9,95	11,85	10,15	46,45	43,75	38,65	28,05	31,05
6 anos e 10 meses	18,7	15,1	9,98	11,92	10,22	46,48	43,98	38,85	28,18	31,2
6 anos e 11 meses	18,85	15,2	10,01	11,98	10,28	46,92	44,22	39,05	28,32	31,35
7 anos	19	15,3	10,05	12,05	10,35	47,15	44,45	39,25	28,45	31,5
7 anos e 1 mês	19,15	15,4	10,12	12,15	10,42	47,42	44,72	39,45	28,58	31,63
7 anos e 2 meses	19,3	15,5	10,18	12,25	10,48	47,68	44,98	39,65	28,72	31,77
7 anos e 3 meses	19,45	15,6	10,25	12,35	10,55	47,95	45,25	39,85	28,85	31,9
7 anos e 4 meses	19,6	15,7	10,32	12,43	10,62	48,18	45,45	40,05	28,95	32,05
7 anos e 5 meses	19,75	15,8	10,38	12,52	10,68	48,42	45,65	40,25	29,05	32,2
7 anos e 6 meses	19,9	15,9	10,45	12,6	10,75	48,65	45,85	40,45	29,15	32,35
7 anos e 7 meses	20,07	16	10,51	12,62	10,82	48,92	46,08	40,65	29,28	32,5
7 anos e 8 meses	20,23	16,1	10,58	12,77	10,88	49,18	46,32	40,85	29,42	32,65
7 anos e 9 meses	20,4	16,2	10,65	12,85	10,95	49,45	46,55	41,05	29,55	32,8
7 anos e 10 meses	20,55	16,3	10,7	12,95	11,02	49,68	46,78	41,25	29,68	32,9
7 anos e 11 meses	20,7	16,4	10,75	13,05	11,08	49,92	47,02	41,45	29,82	33,07
8 anos	20,85	16,5	10,8	13,15	11,15	50,15	47,25	41,65	29,95	33,2
8 anos e 1 mês	21	16,6	10,86	13,2	11,22	50,4	47,48	41,85	30,08	33,35
8 anos e 2 meses	21,15	16,7	10,93	13,25	11,28	50,65	47,72	42,05	30,22	33,5
8 anos e 3 meses	21,3	16,8	11	13,3	11,35	50,9	47,95	42,25	30,35	33,65
8 anos e 4 meses	21,45	16,9	11,05	13,42	11,42	51,15	48,18	42,45	30,48	33,8
8 anos e 5 meses	21,6	17	11,1	13,53	11,48	51,4	48,42	42,65	30,62	33,95
8 anos e 6 meses	21,75	17,1	11,15	13,65	11,55	51,65	48,65	42,85	30,75	34,1
8 anos e 7 meses	21,9	17,2	11,22	13,75	11,62	51,88	48,88	43,05	30,88	34,25
8 anos e 8 meses	22,05	17,3	11,28	13,85	11,68	52,12	49,12	43,25	31,02	34,4
8 anos e 9 meses	22,2	17,4	11,35	13,95	11,75	52,35	49,35	43,45	31,15	34,55
8 anos e 10 meses	22,35	17,5	11,4	14,02	11,82	52,62	49,58	43,65	31,28	34,7
8 anos e 11 meses	22,5	17,6	11,45	14,08	11,88	52,88	49,82	43,85	31,42	34,85
9 anos	22,65	17,7	11,5	14,15	11,95	53,15	50,05	44,05	31,55	35

		Capitato		hamato		metacarpo			falange	
Idade Óssea	Radio	comp.	larg.	comp.	larg.	II	III	IV	II	III
9 anos e 1 mês	22,8	17,8	11,57	14,25	12,02	53,38	50,28	44,25	31,68	35,13
9 anos e 2 meses	22,95	17,9	11,63	14,35	12,08	53,62	50,52	44,45	31,82	35,27
9 anos e 3 meses	23,1	18	11,7	14,45	12,15	53,85	50,75	44,65	31,95	35,4
9 anos e 4 meses	23,25	18,1	11,75	14,53	12,22	54,12	50,98	44,85	32,08	35,55
9 anos e 5 meses	23,4	18,2	11,8	14,62	12,28	54,38	51,22	45,05	32,22	35,7
9 anos e 6 meses	23,55	18,3	11,85	14,7	12,35	54,65	51,45	45,25	32,35	35,85
9 anos e 7 meses	23,7	18,4	11,92	14,78	12,42	54,88	51,68	45,45	32,48	36
9 anos e 8 meses	23,85	18,5	11,98	14,87	12,48	55,12	51,92	45,65	32,62	36,15
9 anos e 9 meses	24	18,6	12,05	14,95	12,55	55,35	52,15	45,85	32,75	36,3
9 anos e 10 meses	24,17	18,7	12,12	15,05	12,62	55,62	52,38	46,05	32,88	36,55
9 anos e 11 meses	24,33	18,8	12,18	15,15	12,68	55,88	52,62	46,25	33,02	36,8
10 anos	24,5	18,9	12,25	15,25	12,75	56,15	52,85	46,45	33,15	37,05
10 anos e 1 mês	24,65	19	12,3	15,32	12,82	56,38	53,08	46,65	33,28	37,1
10 anos e 2 meses	24,8	19,1	12,35	15,38	12,88	56,62	53,32	46,85	33,42	37,15
10 anos e 3 meses	24,95	19,2	12,4	15,45	12,95	56,85	53,55	47,05	33,55	37,2
10 anos e 4 meses	25,1	19,3	12,45	15,55	13,02	57,08	53,78	47,25	33,68	37,33
10 anos e 5 meses	25,25	19,4	12,5	15,65	13,08	57,32	54,02	47,45	33,82	37,47
10 anos e 6 meses	25,4	19,5	12,55	15,75	13,15	57,55	54,25	47,65	33,95	37,6
10 anos e 7 meses	25,55	19,6	12,62	15,85	13,22	57,82	54,48	47,85	34,08	37,75
10 anos e 8 meses	25,7	19,7	12,68	15,95	13,28	58,08	54,72	48,05	34,22	37,9
10 anos e 9 meses	25,85	19,8	12,75	16,05	13,35	58,35	54,95	48,25	34,35	38,05
10 anos e 10 meses	26	19,9	12,82	16,12	13,42	58,58	55,18	48,45	34,48	38,2
10 anos e 11 meses	26,15	20	12,88	16,18	13,48	58,82	55,45	48,65	34,62	38,35
11 anos	26,3	20,1	12,95	16,25	13,55	59,05	55,65	48,85	34,75	38,5
11 anos e 1 mês	26,45	20,2	13	16,35	13,62	59,32	55,88	49,05	34,88	38,63
11 anos e 2 meses	26,6	20,3	13,05	16,45	13,68	59,58	56,12	49,25	35,02	38,77
11 anos e 3 meses	26,75	20,4	13,1	16,55	13,75	59,85	56,35	49,65	35,15	38,9
11 anos e 4 meses	26,9	20,5	13,15	16,63	13,82	60,08	56,58	49,65	35,28	39,05
11 anos e 5 meses	27,05	20,6	13,2	16,72	13,88	60,32	56,81	49,85	35,42	39,2
11 anos e 6 meses	27,2	20,7	13,25	16,8	13,95	60,55	57,05	50,05	35,55	39,35
11 anos e 7 meses	27,35	20,8	13,32	16,88	14,02	60,82	57,27	50,25	35,65	39,5
11 anos e 8 meses	27,5	20,9	13,38	16,97	14,08	61,08	57,48	50,45	35,75	39,65
11 anos e 9 meses	27,65	21	13,45	17,05	14,15	61,35	57,7	50,65	35,85	39,8
11 anos e 10 meses	27,8	21,1	13,52	17,15	14,22	61,58	57,95	50,85	35,98	39,95
11 anos e 11 meses	27,95	21,2	13,58	17,25	14,28	61,82	58,2	51,05	36,12	40,1
12 anos	28,1	21,3	13,65	17,35	14,35	62,05	58,45	51,25	36,25	40,25
12 anos e 1 mês	28,25	21,3	13,7	17,42	14,42	62,28	58,68	51,45	36,38	40,4
12 anos e 2 meses	28,4	21,4	13,75	17,48	14,48	62,52	58,92	51,65	36,52	40,55
12 anos e 3 meses	28,55	21,55	13,8	17,55	14,55	62,75	59,15	51,85	36,65	40,7
12 anos e 4 meses	28,72	21,65	13,87	17,65	14,62	63,02	59,38	52	36,78	40,83
12 anos e 5 meses	28,88	21,75	13,93	17,75	14,68	63,28	59,62	52,25	36,92	40,97
12 anos e 6 meses	29,05	21,85	14	17,85	14,75	63,55	59,85	52,45	37,05	41,1
12 anos e 7 meses	29,28	21,95	14,05	17,93	14,82	63,78	60,08	52,65	37,18	41,25
12 anos e 8 meses	29,51	22,05	14,1	18,02	14,88	64,02	60,32	52,85	37,32	41,4
12 anos e 9 meses	29,75	22,15	14,15	18,1	14,95	64,25	60,55	53	37,45	41,55
12 anos e 10 meses	29,82	22,25	14,22	18,18	15,02	64,52	60,57	53,2	37,58	41,7
12 anos e 11 meses	29,88	22,35	14,28	18,27	15,08	64,78	60,58	53,4	37,72	41,85
13 anos	29,95	22,45	14,35	18,35	15,15	65,05	60,6	53,6	37,85	42
13 anos e 1 mês	30,1	22,55	14,42	18,45	15,22	65,28	60,95	53,82	37,98	42,13
13 anos e 2 meses	30,25	22,65	14,48	18,55	15,28	65,52	61,3	54	38,12	42,27

		Capitato		hamato		metacarpo			falange	
Idade Óssea	Radio	comp.	larg.	comp.	larg.	II	III	IV	II	III
13 anos e 3 meses	30,4	22,75	14,55	18,65	15,35	65,75	61,65	54,2	38,25	42,4
13 anos e 4 meses	30,55	22,85	14,6	18,73	15,42	66,02	62,02	54,4	38,38	42,57
13 anos e 5 meses	30,7	22,95	14,65	18,82	15,48	66,28	62,38	54,6	38,52	42,73
13 anos e 6 meses	30,85	23,05	14,7	18,9	15,55	66,55	62,75	54,8	38,65	42,9
13 anos e 7 meses	31	23,15	14,75	18,98	15,62	66,78	62,98	55	38,78	43,03
13 anos e 8 meses	31,15	23,25	14,8	19,07	15,68	67,02	63,22	55,2	38,92	43,17
13 anos e 9 meses	31,3	23,35	14,85	19,15	15,75	67,25	63,45	55,4	39,05	43,3
13 anos e 10 meses	31,45	23,45	14,92	19,25	15,82	67,5	63,68	55,6	39,18	43,45
13 anos e 11 meses	31,6	23,55	14,98	19,35	15,88	67,75	63,92	55,8	39,32	43,6
14 anos	31,75	23,65	15,05	19,45	15,95	68	64,15	56	39,45	43,75
14 anos e 1 mês	31,92	23,75	15,12	19,52	16,02	68,15	64,38	56,2	39,58	44
14 anos e 2 meses	32,08	23,85	15,18	19,58	16,08	68,3	64,62	56,4	39,72	44,05
14 anos e 3 meses	32,25	23,95	15,25	19,65	16,15	68,45	64,85	56,6	39,85	44,2
14 anos e 4 meses	32,38	24,05	15,3	19,78	16,22	68,78	65,08	56,8	39,98	44,33
14 anos e 5 meses	32,52	24,15	15,35	19,85	16,28	69,12	65,32	57	40,12	44,47
14 anos e 6 meses	32,65	24,25	15,4	19,95	16,35	69,45	65,55	57,2	40,25	44,6
14 anos e 7 meses	32,82	24,35	15,45	20,03	16,42	69,72	65,78	57,4	40,33	44,77
14 anos e 8 meses	32,98	24,45	15,5	20,12	16,48	69,98	66,02	57,6	40,42	44,93
14 anos e 9 meses	33,15	24,55	15,55	20,2	16,55	70,25	66,25	57,8	40,5	45,1
14 anos e 10 meses	33,21	24,65	15,62	20,28	16,62	70,48	66,48	58	40,68	45,23
14 anos e 11 meses	33,28	24,75	15,68	20,37	16,68	70,72	66,72	58,2	40,87	45,37
15 anos	33,35	24,85	15,75	20,45	16,75	70,95	66,95	58,4	41,05	45,5

Tabela 4-A: Atlas expandido de Eklof & Ringertz para o sexo masculino.

Idade Óssea	Radio	Capitato		hamato		metacarpo			falange	
		comp.	larg.	comp.	larg.	II	III	IV	II	III
5 anos	14,85	12,75	8,65	9,55	8,55	40,6	37,95	33,75	25	27,75
5 anos e 1 mês	15,02	12,85	8,72	9,63	8,63	40,85	38,18	33,95	25,12	27,9
5 anos e 2 meses	15,18	12,95	8,78	9,72	8,72	41,1	38,42	34,15	25,23	28,05
5 anos e 3 meses	15,35	13,05	8,85	9,8	8,8	41,35	38,65	34,35	25,35	28,2
5 anos e 4 meses	15,52	13,17	8,92	9,9	8,87	41,58	38,9	34,57	25,47	28,33
5 anos e 5 meses	15,68	13,28	8,98	10	8,93	41,82	39,15	34,78	25,58	28,47
5 anos e 6 meses	15,85	13,4	9,05	10,1	9	42,05	39,04	35	25,7	28,6
5 anos e 7 meses	16,02	13,52	9,12	10,2	9,07	42,3	39,63	35,22	25,83	28,75
5 anos e 8 meses	16,18	13,63	9,18	10,3	9,13	42,55	39,87	35,43	25,97	28,9
5 anos e 9 meses	16,35	13,75	9,25	10,4	9,2	42,8	40,1	35,65	26,1	29,05
5 anos e 10 meses	16,52	13,85	9,32	10,5	9,27	43,05	40,35	35,85	26,23	29,18
5 anos e 11 meses	16,68	13,95	9,38	10,6	9,33	43,3	40,6	36,05	26,37	29,32
6 anos	16,85	14,05	9,45	10,7	9,4	43,55	40,85	36,25	26,5	29,45
6 anos e 1 mês	17,02	14,15	9,52	10,85	9,48	43,8	41,08	36,45	26,63	29,63
6 anos e 2 meses	17,18	14,25	9,58	11	9,57	44,05	41,32	36,65	26,77	29,82
6 anos e 3 meses	17,35	14,35	9,65	11,15	9,65	44,3	41,55	36,85	26,9	30
6 anos e 4 meses	17,52	14,47	9,68	11,17	9,72	44,55	41,78	37,07	27,02	30,1
6 anos e 5 meses	17,68	14,58	9,72	11,18	9,78	44,8	42,02	37,28	27,13	30,2
6 anos e 6 meses	17,85	14,7	9,75	11,2	9,85	45,05	42,25	37,5	27,25	30,3
6 anos e 7 meses	18,02	14,82	9,82	11,3	9,93	45,28	42,5	37,72	27,38	30,45
6 anos e 8 meses	18,18	14,93	9,88	11,4	10,02	45,52	42,75	37,93	27,52	30,6
6 anos e 9 meses	18,35	15,05	9,95	11,5	10,1	45,75	43	38,15	27,65	30,75
6 anos e 10 meses	18,5	15,15	10	11,6	10,17	46,02	43,23	38,35	27,77	30,88
6 anos e 11 meses	18,65	15,25	10,1	11,7	10,23	46,28	43,47	38,55	27,88	31,02
7 anos	18,8	15,35	10,2	11,8	10,3	46,55	43,7	38,75	28	31,15
7 anos e 1 mês	18,97	15,47	10,2	11,9	10,37	46,78	43,93	38,95	28,13	31,3
7 anos e 2 meses	19,13	15,58	10,3	12	10,43	47,02	44,17	39,15	28,27	31,45
7 anos e 3 meses	19,3	15,7	10,4	12,1	10,5	47,25	44,4	39,35	28,4	31,6
7 anos e 4 meses	19,45	15,82	10,5	12,18	10,57	47,5	44,65	39,57	28,53	31,78
7 anos e 5 meses	19,63	15,93	10,5	12,27	10,63	47,75	44,9	39,78	28,67	31,97
7 anos e 6 meses	19,8	16,05	10,6	12,35	10,7	48	45,15	40	28,8	32,15
7 anos e 7 meses	19,97	16,15	10,6	12,43	10,78	48,28	45,38	40,22	28,93	32,25
7 anos e 8 meses	20,13	16,25	10,7	12,52	10,87	48,5	45,62	40,43	29,07	32,35
7 anos e 9 meses	20,3	16,35	10,8	12,6	10,95	48,75	45,85	40,65	29,2	32,45
7anos e 10 meses	20,47	16,47	10,8	12,7	11,02	48,98	46,08	40,85	29,32	32,6
7 anos e 11 meses	20,63	16,58	10,9	12,8	11,08	49,22	46,32	41,05	29,43	32,75
8 anos	20,8	16,7	11	12,9	11,15	49,45	46,55	41,25	29,55	32,9
8 anos e 1 mês	20,97	16,82	11	13	11,23	49,72	46,8	41,45	29,68	33,03
8 anos e 2 meses	21,13	16,93	11,1	13,1	11,32	49,98	47,05	41,65	29,82	33,17
8 anos e 3 meses	21,3	17,05	11,2	13,2	11,4	50,25	47,3	41,85	29,95	33,3
8 anos e 4 meses	21,47	17,15	11,2	13,3	11,47	50,48	47,53	42,07	30,07	33,43
8 anos e 5 meses	21,63	17,25	11,3	13,4	11,53	50,72	47,77	42,28	30,18	33,57
8 anos e 6 meses	21,8	17,35	11,4	13,5	11,6	50,95	48	42,5	30,3	33,7
8 anos e 7 meses	21,97	17,47	11,4	13,58	11,67	51,2	48,23	42,72	30,43	33,85
8 anos e 8 meses	22,13	17,58	11,5	13,7	11,73	51,45	48,47	42,93	30,57	34
8 anos e 9 meses	22,3	17,7	11,6	13,75	11,8	51,7	48,7	43,15	30,7	34,15
8 anos e 10 meses	22,47	17,82	11,6	13,83	11,87	51,95	48,95	43,35	30,75	34,3
8 anos e 11 meses	22,63	17,93	11,7	13,92	11,93	52,2	49,2	43,55	30,77	34,45

Idade Óssea	Radio	Capitato		hamato		metacarpo			falange	
		comp.	larg.	comp.	larg.	II	III	IV	II	III
9 anos	22,8	18,05	11,8	14	12	52,45	49,45	43,75	30,8	34,6
9 anos e 1 mês	22,97	18,15	11,8	14,1	12,08	52,7	49,68	43,95	30,97	34,73
9 anos e 2 meses	23,13	18,25	11,9	14,2	12,17	52,95	49,92	44,05	31,13	34,87
9 anos e 3 meses	23,3	18,35	12	14,3	12,25	53,2	50,15	44,35	31,3	35
9 anos e 4 meses	23,47	18,47	12	14,4	12,3	53,45	50,38	44,57	31,48	35,15
9 anos e 5 meses	23,63	18,58	12,1	14,5	12,35	53,7	50,62	44,78	31,67	35,3
9 anos e 6 meses	23,8	18,7	12,1	14,6	12,4	53,95	50,85	45	31,85	35,45
9 anos e 7 meses	23,97	18,82	12,2	14,7	12,52	54,18	51,1	45,22	31,98	35,58
9 anos e 8 meses	24,13	18,93	12,2	14,8	12,63	54,35	51,35	45,43	32,12	35,72
9 anos e 9 meses	24,3	19,05	12,3	14,9	12,75	54,65	51,6	45,65	32,25	35,85
9 anos e 10 meses	24,47	19,15	12,3	14,98	12,8	54,9	51,83	45,85	32,37	36
9 anos e 11 meses	24,63	19,25	12,4	15,07	12,85	55,15	52,07	46,05	32,48	36,15
10 anos	24,8	19,35	12,5	15,15	12,9	55,4	52,3	46,25	32,6	36,3
10 anos e 1 mês	24,97	19,45	12,5	15,23	12,97	55,65	52,72	46,45	32,72	36,43
10 anos e 2 meses	25,13	19,55	12,6	15,32	13,03	55,9	53,13	46,65	32,87	36,57
10 anos e 3 meses	25,3	19,65	12,7	15,4	13,1	56,15	53,55	46,85	33	36,7
10 anos e 4 meses	25,47	19,77	12,7	15,5	13,17	56,4	53,62	47,07	33,13	36,83
10 anos e 5 meses	25,63	19,88	12,8	15,6	13,23	56,65	53,68	47,28	33,27	36,97
10 anos e 6 meses	25,8	20	12,9	15,7	13,3	56,9	53,75	47,5	33,4	37,1
10 anos e 7 meses	25,97	20,12	12,9	15,8	13,38	57,15	53,98	47,72	33,53	37,18
10 anos e 8 meses	26,13	20,23	13	15,9	13,47	57,4	54,22	47,93	33,67	37,27
10 anos e 9 meses	26,3	20,35	13,1	16	13,55	57,65	54,45	48,15	33,8	37,35
10 anos e 10 meses	26,47	20,45	13,1	16,1	13,63	57,88	54,7	48,35	33,92	37,57
10 anos e 11 meses	26,63	20,55	13,2	16,2	13,72	58,12	54,95	48,55	34,03	37,78
11 anos	26,8	20,65	13,3	16,3	13,8	58,35	55,2	48,75	34,15	38
11 anos e 1 mês	26,95	20,77	13,3	16,38	13,87	58,6	55,43	48,95	34,27	38,13
11 anos e 2 meses	27,1	20,88	13,4	16,47	13,93	58,85	55,7	49,15	34,38	38,27
11 anos e 3 meses	27,25	21	13,5	16,55	14	59,1	55,9	49,35	34,5	38,4
11 anos e 4 meses	27,42	21,12	13,5	16,63	14,07	59,35	56,13	49,57	34,63	38,55
11 anos e 5 meses	27,58	21,23	13,6	16,72	14,13	59,6	56,37	49,78	34,77	38,7
11 anos e 6 meses	27,75	21,35	13,7	16,8	14,2	59,85	56,6	50	34,9	38,85
11 anos e 7 meses	27,92	21,45	13,7	16,9	14,27	60,1	56,85	50,22	35,03	38,98
11 anos e 8 meses	28,08	21,55	13,8	17	14,33	60,35	57,1	50,43	35,17	39,12
11 anos e 9 meses	28,25	21,65	13,9	17,1	14,4	60,6	57,35	50,65	35,3	39,25
11 anos e 10 meses	28,42	21,77	13,9	17,2	14,48	60,85	57,58	50,85	35,43	39,4
11 anos e 11 meses	28,58	21,88	14	17,3	14,57	61,1	57,82	51,05	35,57	39,55
12 anos	28,75	22	14,1	17,4	14,65	61,35	58,05	51,25	35,5	39,7
12 anos e 1 mês	28,92	22,12	14,1	17,5	14,72	61,6	58,28	51,45	35,63	39,85
12 anos e 2 meses	29,08	22,23	14,2	17,6	14,78	61,85	58,52	51,65	35,77	40
12 anos e 3 meses	29,25	22,35	14,3	17,7	14,85	62,1	58,75	51,85	35,9	40,15
12 anos e 4 meses	29,42	22,45	14,3	17,78	14,93	62,35	59	52,07	36,08	40,28
12 anos e 5 meses	29,58	22,55	14,4	17,87	15,02	62,6	59,25	52,28	36,27	40,42
12 anos e 6 meses	29,75	22,65	14,4	17,95	15,1	62,85	59,5	52,5	36,45	40,55
12 anos e 7 meses	29,92	22,77	14,5	18,03	15,16	63,08	59,73	52,72	36,57	40,7
12 anos e 8 meses	30,08	22,88	14,5	18,12	15,23	63,31	59,97	52,93	36,68	40,85
12 anos e 9 meses	30,25	23	14,6	18,2	15,3	63,55	60,2	53,15	36,8	41
12 anos e 10 meses	30,42	23,12	14,6	18,3	15,36	63,8	60,45	53,35	36,9	41,13
12 anos e 11 meses	30,58	23,23	14,7	18,4	15,43	64,05	60,7	53,55	37	41,27
13 anos	30,75	23,35	14,8	18,5	15,5	64,3	60,95	53,75	37,1	41,4
13 anos e 1 mês	30,92	23,45	14,8	18,6	15,56	64,55	61,18	53,95	37,27	41,55

Idade Óssea	Radio	Capitato		hamato		metacarpo			falange	
		comp.	larg.	comp.	larg.	II	III	IV	II	III
13 anos e 2 meses	31,08	23,55	14,9	18,7	15,63	64,8	61,42	54,15	37,43	41,7
13 anos e 3 meses	31,25	23,65	15	18,8	15,7	65,05	61,65	54,35	37,6	41,85
13 anos e 4 meses	31,42	23,77	15	18,9	15,78	65,3	61,88	54,57	37,73	41,98
13 anos e 5 meses	31,58	23,88	15,1	19	15,87	65,55	62,12	54,78	37,87	42,17
13 anos e 6 meses	31,75	24	15,2	19,1	15,95	65,8	62,35	55,05	38	42,25
13 anos e 7 meses	31,92	24,22	15,2	19,18	16,02	66,05	62,58	55,25	38,13	42,4
13 anos e 8 meses	32,08	24,43	15,3	19,27	16,08	66,3	62,82	55,45	38,27	42,55
13 anos e 9 meses	32,25	24,65	15,4	19,35	16,15	66,55	63,05	55,65	38,4	42,7
13 anos e 10 meses	32,42	24,67	15,4	19,43	16,23	66,78	63,3	55,85	38,5	42,83
13 anos e 11 meses	32,58	24,68	15,5	19,52	16,32	67,02	63,55	56,05	38,6	42,97
14 anos	32,75	24,7	15,6	19,6	16,4	67,25	63,8	56,25	38,7	43,1
14 anos e 1 mês	32,92	24,8	15,6	19,7	16,47	67,5	64,5	56,45	38,83	43,25
14 anos e 2 meses	33,08	24,9	15,7	19,8	16,53	67,75	64,3	56,85	38,97	43,3
14 anos e 3 meses	33,25	25	15,8	19,9	16,6	68	64,55	56,85	39,1	43,55
14 anos e 4 meses	33,42	25,1	15,8	20	16,67	68,25	64,78	57,05	39,23	43,68
14 anos e 5 meses	33,58	25,2	15,9	20,1	16,73	68,5	65,02	57,35	39,37	43,82
14 anos e 6 meses	33,75	25,3	16	20,2	16,8	68,75	65,25	57,55	39,5	43,95
14 anos e 7 meses	33,92	25,42	16	20,3	16,87	69	65,48	57,75	39,63	44,1
14 anos e 8 meses	34,08	25,53	16,1	20,4	16,93	69,25	65,72	57,95	39,77	44,25
14 anos e 9 meses	34,25	25,65	16,2	20,5	17	69,5	65,95	58,15	39,9	44,4
14 anos e 10 meses	34,42	25,75	16,2	20,6	17,08	69,75	66,18	58,35	40,03	44,55
14 anos e 11 meses	34,58	25,85	16,3	20,7	17,17	70	66,42	58,55	40,17	44,7
15 anos	34,75	25,95	16,4	20,8	17,25	70,2	66,65	58,75	40,3	44,85

O Atlas simplificado contém as mesmas dimensões dos centros de ossificação do método tradicional, porém não contém as dimensões do radio, capitato e hamato.

Apêndice B: Resultados da estimação da idade óssea

As imagens utilizadas nos testes com a rede neural foram retiradas do banco de dados que está sendo desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Elétrica da USP de São Carlos. Os arquivos estão separados por sexo e em diretórios que correspondem à idade cronológica do paciente. Dentro destes diretórios estão as imagens utilizadas nos testes para a validação desta metodologia.

Tabela 1-B: Resultados da estimação da idade óssea utilizando o método completo de Eklof & Ringertz

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
6,30	6,20	6 anos/2m.bmp	8,30	8,40	6 anos/1f.bmp
6,30	6,40	6 anos/6m.bmp	5,00	4,50	6 anos/2f.bmp
6,60	6,20	6 anos/8m.bmp	5,50	5,00	6 anos/5f.bmp
6,30	6,80	6 anos/9m.bmp	10,90	11,00	6 anos/6f.bmp
6,00	6,60	6 anos/10m.bmp	10,90	11,10	6 anos/9f.bmp
7,90	7,60	7 anos/1m.bmp	14,40	14,40	7 anos/1f.bmp
6,30	6,70	7 anos/3m.bmp	7,30	7,00	7 anos/2f.bmp
10,60	10,40	7 anos/4m.bmp	10,30	10,20	7 anos/4f.bmp
7,00	7,30	7 anos/5m.bmp	9,00	9,00	7 anos/6f.bmp
5,30	5,10	7 anos/7m.bmp	6,70	6,70	7 anos/7f.bmp
8,90	8,50	8 anos/1m.bmp	6,60	7,00	8 anos/1f.bmp
7,90	8,10	8 anos/3m.bmp	6,00	6,10	8 anos/2f.bmp
8,30	8,30	8 anos/4m.bmp	9,30	9,40	8 anos/5f.bmp
9,00	9,20	8 anos/6m.bmp	8,80	8,90	8 anos/7f.bmp
8,30	8,60	8 anos/8m.bmp	13,40	13,70	8 anos/9f.bmp
8,30	8,70	9 anos/3m.bmp	8,70	8,40	9 anos/2f.bmp
7,90	7,50	9 anos/4m.bmp	6,40	6,70	9 anos/4f.bmp
7,00	7,20	9 anos/5m.bmp	9,90	10,10	9 anos/5f.bmp
8,90	9,00	9 anos/7m.bmp	9,50	9,60	9 anos/6f.bmp
9,90	9,40	9 anos/8m.bmp	11,30	11,10	9 anos/9f.bmp
9,60	9,30	10 anos/1m.bmp	10,80	10,80	10 anos/1f.bmp
10,90	10,60	10 anos/3m.bmp	9,80	9,60	10 anos/4f.bmp
9,30	9,60	10 anos/4m.bmp	15,00	15,00	10 anos/5f.bmp
10,20	10,50	10 anos/6m.bmp	8,10	8,40	10 anos/7f.bmp
11,30	11,00	10 anos/7m.bmp	10,20	10,00	10 anos/8f.bmp
11,30	11,60	11 anos/2m.bmp	8,30	8,70	11 anos/2f.bmp
10,90	10,80	11 anos/3m.bmp	10,40	10,10	11 anos/3f.bmp
11,00	11,50	11 anos/4m.bmp	12,80	12,30	11 anos/4f.bmp
11,00	11,30	11 anos/5m.bmp	9,90	9,70	11 anos/6f.bmp
10,60	10,10	11 anos/6m.bmp	8,90	8,60	11 anos/8f.bmp
10,60	10,70	12 anos/1m.bmp	15,00	14,90	12 anos/2f.bmp
10,60	10,10	12 anos/2m.bmp	10,30	10,00	12 anos/3f.bmp
11,90	11,60	12 anos/4m.bmp	10,10	10,50	12 anos/4f.bmp
10,60	10,20	12 anos/5m.bmp	12,80	12,50	12 anos/5f.bmp
11,90	12,00	12 anos/7m.bmp	12,30	12,70	12 anos/6f.bmp

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
12,80	12,90	13 anos/3m.bmp	10,90	10,80	13 anos/2f.bmp
10,60	10,40	13 anos/5m.bmp	15,00	14,80	13 anos/4f.bmp
14,60	14,60	13 anos/6m.bmp	12,70	12,40	13 anos/5f.bmp
10,60	10,90	13 anos/7m.bmp	14,70	14,80	13 anos/6f.bmp
10,90	11,40	13 anos/8m.bmp	10,90	10,80	13 anos/7f.bmp
12,00	11,70	14 anos/1m.bmp	12,50	12,60	14 anos/1f.bmp
11,30	11,80	14 anos/3m.bmp	13,20	12,80	14 anos/2f.bmp
11,90	11,60	14 anos/4m.bmp	11,80	12,10	14 anos/3f.bmp
12,60	12,30	14 anos/5m.bmp	13,50	13,10	14 anos/4f.bmp
11,30	11,20	14 anos/7m.bmp	14,70	14,90	14 anos/6f.bmp

Tabela 2-B: Resultados da estimacão da idade óssea pelo método simplificado de Eklof & Ringertz

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
6,30	6,10	6 anos/2m.bmp	8,30	8,50	6 anos/1f.bmp
6,30	6,50	6 anos/6m.bmp	5,00	5,20	6 anos/2f.bmp
6,60	7,10	6 anos/8m.bmp	5,50	5,80	6 anos/5f.bmp
6,30	6,80	6 anos/9m.bmp	10,90	11,00	6 anos/6f.bmp
6,00	5,90	6 anos/10m.bmp	10,90	11,30	6 anos/9f.bmp
7,90	7,70	7 anos/1m.bmp	14,40	14,50	7 anos/1f.bmp
6,30	6,80	7 anos/3m.bmp	7,30	6,90	7 anos/2f.bmp
10,60	11,00	7 anos/4m.bmp	10,30	10,20	7 anos/4f.bmp
7,00	6,70	7 anos/5m.bmp	9,00	9,00	7 anos/6f.bmp
5,30	5,20	7 anos/7m.bmp	6,70	6,70	7 anos/7f.bmp
8,90	9,00	8 anos/1m.bmp	6,60	6,50	8 anos/1f.bmp
7,90	7,70	8 anos/3m.bmp	6,00	6,10	8 anos/2f.bmp
8,30	8,30	8 anos/4m.bmp	9,30	9,70	8 anos/5f.bmp
9,00	9,10	8 anos/6m.bmp	8,80	8,70	8 anos/7f.bmp
8,30	8,20	8 anos/8m.bmp	13,40	13,30	8 anos/9f.bmp
8,30	8,00	9 anos/3m.bmp	8,70	8,50	9 anos/2f.bmp
7,90	7,60	9 anos/4m.bmp	6,40	6,30	9 anos/4f.bmp
7,00	7,50	9 anos/5m.bmp	9,90	10,10	9 anos/5f.bmp
8,90	8,90	9 anos/7m.bmp	9,50	9,70	9 anos/6f.bmp
9,90	9,80	9 anos/8m.bmp	11,30	11,30	9 anos/9f.bmp
9,60	9,50	10 anos/1m.bmp	10,80	10,80	10 anos/1f.bmp
10,90	10,60	10 anos/3m.bmp	9,80	9,50	10 anos/4f.bmp
9,30	9,60	10 anos/4m.bmp	15,00	15,10	10 anos/5f.bmp
10,11	10,30	10 anos/6m.bmp	8,10	8,40	10 anos/7f.bmp
11,30	10,90	10 anos/7m.bmp	10,20	10,30	10 anos/8f.bmp
11,30	11,00	11 anos/2m.bmp	8,30	8,40	11 anos/2f.bmp
10,90	10,60	11 anos/3m.bmp	10,40	10,70	11 anos/3f.bmp
11,00	11,00	11 anos/4m.bmp	12,80	12,90	11 anos/4f.bmp
11,00	11,00	11 anos/5m.bmp	9,90	9,50	11 anos/6f.bmp
10,60	10,50	11 anos/6m.bmp	8,90	8,50	11 anos/8f.bmp
10,60	10,70	12 anos/1m.bmp	15,00	15,00	12 anos/2f.bmp
10,60	10,50	12 anos/2m.bmp	10,30	10,70	12 anos/3f.bmp
11,90	12,30	12 anos/4m.bmp	10,10	10,00	12 anos/4f.bmp
10,60	10,90	12 anos/5m.bmp	12,80	12,50	12 anos/5f.bmp
11,90	11,70	12 anos/7m.bmp	12,30	12,20	12 anos/6f.bmp
12,80	12,60	13 anos/3m.bmp	10,90	10,40	13 anos/2f.bmp

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
10,60	10,60	13 anos/5m.bmp	15,00	14,70	13 anos/4f.bmp
14,60	14,50	13 anos/6m.bmp	12,70	13,10	13 anos/5f.bmp
10,60	10,40	13 anos/7m.bmp	14,70	14,70	13 anos/6f.bmp
10,90	10,90	13 anos/8m.bmp	10,90	11,20	13 anos/7f.bmp
12,00	11,50	14 anos/1m.bmp	12,50	12,20	14 anos/1f.bmp
11,30	10,90	14 anos/3m.bmp	13,20	13,30	14 anos/2f.bmp
11,90	11,80	14 anos/4m.bmp	11,80	11,50	14 anos/3f.bmp
12,60	12,40	14 anos/5m.bmp	13,50	13,30	14 anos/4f.bmp
11,30	11,40	14 anos/7m.bmp	14,70	14,80	14 anos/6f.bmp

Tabela 3-B: Resultados da estimacão da idade óssea com quatro centros de ossificaco.

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
6,30	6,20	6 anos/2m.bmp	8,30	8,40	6 anos/1f.bmp
6,30	6,00	6 anos/6m.bmp	5,00	5,10	6 anos/2f.bmp
6,60	6,90	6 anos/8m.bmp	5,50	5,20	6 anos/5f.bmp
6,30	6,20	6 anos/9m.bmp	10,90	10,90	6 anos/6f.bmp
6,00	6,00	6 anos/10m.bmp	10,90	11,00	6 anos/9f.bmp
7,90	8,00	7 anos/1m.bmp	14,40	14,10	7 anos/1f.bmp
6,30	6,10	7 anos/3m.bmp	7,30	7,00	7 anos/2f.bmp
10,60	10,60	7 anos/4m.bmp	10,30	10,00	7 anos/4f.bmp
7,00	7,00	7 anos/5m.bmp	9,00	9,10	7 anos/6f.bmp
5,30	5,10	7 anos/7m.bmp	6,70	6,50	7 anos/7f.bmp
8,90	9,20	8 anos/1m.bmp	6,60	6,80	8 anos/1f.bmp
7,90	7,90	8 anos/3m.bmp	6,00	6,30	8 anos/2f.bmp
8,30	8,40	8 anos/4m.bmp	9,30	9,20	8 anos/5f.bmp
9,00	9,00	8 anos/6m.bmp	8,80	8,90	8 anos/7f.bmp
8,30	7,80	8 anos/8m.bmp	13,40	13,10	8 anos/9f.bmp
8,30	8,00	9 anos/3m.bmp	8,70	8,50	9 anos/2f.bmp
7,90	8,00	9 anos/4m.bmp	6,40	6,20	9 anos/4f.bmp
7,00	7,00	9 anos/5m.bmp	9,90	9,70	9 anos/5f.bmp
8,90	9,00	9 anos/7m.bmp	9,50	9,20	9 anos/6f.bmp
9,90	9,60	9 anos/8m.bmp	11,30	11,00	9 anos/9f.bmp
9,60	9,50	10 anos/1m.bmp	10,80	10,90	10 anos/1f.bmp
10,90	11,00	10 anos/3m.bmp	9,80	9,50	10 anos/4f.bmp
9,30	9,20	10 anos/4m.bmp	15,00	15,00	10 anos/5f.bmp
10,20	10,00	10 anos/6m.bmp	8,10	8,50	10 anos/7f.bmp
11,30	11,00	10 anos/7m.bmp	10,20	10,10	10 anos/8f.bmp
11,30	11,20	11 anos/2m.bmp	8,30	8,00	11 anos/2f.bmp
10,90	11,00	11 anos/3m.bmp	10,40	10,70	11 anos/3f.bmp
11,00	11,20	11 anos/4m.bmp	12,80	12,70	11 anos/4f.bmp
11,00	11,30	11 anos/5m.bmp	9,90	9,70	11 anos/6f.bmp
10,60	10,60	11 anos/6m.bmp	8,90	8,60	11 anos/8f.bmp
10,60	10,50	12 anos/1m.bmp	15,00	14,50	12 anos/2f.bmp
10,60	10,40	12 anos/2m.bmp	10,30	10,60	12 anos/3f.bmp
11,90	12,10	12 anos/4m.bmp	10,10	10,00	12 anos/4f.bmp
10,60	10,30	12 anos/5m.bmp	12,80	12,90	12 anos/5f.bmp
11,90	12,00	12 anos/7m.bmp	12,30	12,60	12 anos/6f.bmp

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
12,80	12,50	13 anos/3m.bmp	10,90	10,80	13 anos/2f.bmp
10,60	11,10	13 anos/5m.bmp	15,00	14,70	13 anos/4f.bmp
14,60	14,20	13 anos/6m.bmp	12,70	13,00	13 anos/5f.bmp
10,60	10,90	13 anos/7m.bmp	14,70	14,50	13 anos/6f.bmp
10,90	11,00	13 anos/8m.bmp	10,90	10,80	13 anos/7f.bmp
12,00	11,90	14 anos/1m.bmp	12,50	12,20	14 anos/1f.bmp
11,30	11,60	14 anos/3m.bmp	13,20	13,50	14 anos/2f.bmp
11,90	11,80	14 anos/4m.bmp	11,80	11,50	14 anos/3f.bmp
12,60	12,60	14 anos/5m.bmp	13,50	13,40	14 anos/4f.bmp
11,30	11,50	14 anos/7m.bmp	14,70	15,00	14 anos/6f.bmp

Tabela 4-B: Resultados da estimação da idade óssea usando somente a falange proximal do terceiro dedo.

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
6,30	6,10	6 anos/2m.bmp	8,30	8,30	6 anos/1f.bmp
6,30	6,20	6 anos/6m.bmp	5,00	5,10	6 anos/2f.bmp
6,60	6,90	6 anos/8m.bmp	5,50	5,40	6 anos/5f.bmp
6,30	6,80	6 anos/9m.bmp	10,90	11,70	6 anos/6f.bmp
6,00	5,20	6 anos/10m.bmp	10,90	10,50	6 anos/9f.bmp
7,90	7,40	7 anos/1m.bmp	14,40	13,40	7 anos/1f.bmp
6,30	7,30	7 anos/3m.bmp	7,30	7,00	7 anos/2f.bmp
10,60	11,60	7 anos/4m.bmp	10,30	10,60	7 anos/4f.bmp
7,00	7,30	7 anos/5m.bmp	9,00	9,50	7 anos/6f.bmp
5,30	5,50	7 anos/7m.bmp	6,70	7,00	7 anos/7f.bmp
8,90	8,60	8 anos/1m.bmp	6,60	6,70	8 anos/1f.bmp
7,90	7,30	8 anos/3m.bmp	6,00	6,70	8 anos/2f.bmp
8,30	7,90	8 anos/4m.bmp	9,30	8,30	8 anos/5f.bmp
9,00	9,60	8 anos/6m.bmp	8,80	8,90	8 anos/7f.bmp
8,30	8,60	8 anos/8m.bmp	13,40	12,80	8 anos/9f.bmp
8,30	7,90	9 anos/3m.bmp	8,70	8,00	9 anos/2f.bmp
7,90	6,90	9 anos/4m.bmp	6,40	5,40	9 anos/4f.bmp
7,00	7,90	9 anos/5m.bmp	9,90	8,90	9 anos/5f.bmp
8,90	8,60	9 anos/7m.bmp	9,50	9,00	9 anos/6f.bmp
9,90	9,10	9 anos/8m.bmp	11,30	10,60	9 anos/9f.bmp
9,60	10,40	10 anos/1m.bmp	10,80	11,70	10 anos/1f.bmp
10,90	9,90	10 anos/3m.bmp	9,80	8,90	10 anos/4f.bmp
9,30	8,60	10 anos/4m.bmp	15,00	14,40	10 anos/5f.bmp
10,20	11,00	10 anos/6m.bmp	8,10	9,00	10 anos/7f.bmp
11,30	10,90	10 anos/7m.bmp	10,20	9,90	10 anos/8f.bmp
11,30	10,50	11 anos/2m.bmp	8,30	8,30	11 anos/2f.bmp
10,90	10,00	11 anos/3m.bmp	10,40	9,50	11 anos/3f.bmp
11,00	12,00	11 anos/4m.bmp	12,80	13,40	11 anos/4f.bmp
11,00	12,00	11 anos/5m.bmp	9,90	9,00	11 anos/6f.bmp
10,60	9,60	11 anos/6m.bmp	8,90	8,30	11 anos/8f.bmp
10,60	9,70	12 anos/1m.bmp	15,00	14,50	12 anos/2f.bmp
10,60	9,60	12 anos/2m.bmp	10,30	10,60	12 anos/3f.bmp

Sexo Masculino			Sexo Feminino		
Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo	Idade (Laudo)	Idade Estimada	Arquivo
11,90	12,30	12 anos/4m.bmp	10,10	10,00	12 anos/4f.bmp
10,60	9,60	12 anos/5m.bmp	12,80	13,50	12 anos/5f.bmp
11,90	10,90	12 anos/7m.bmp	12,30	12,40	12 anos/6f.bmp
12,80	12,70	13 anos/3m.bmp	10,90	11,20	13 anos/2f.bmp
10,60	10,30	13 anos/5m.bmp	15,00	14,50	13 anos/4f.bmp
14,60	13,90	13 anos/6m.bmp	12,70	12,40	13 anos/5f.bmp
10,60	9,60	13 anos/7m.bmp	14,70	14,50	13 anos/6f.bmp
10,90	11,00	13 anos/8m.bmp	10,90	10,00	13 anos/7f.bmp
12,00	11,60	14 anos/1m.bmp	12,50	13,40	14 anos/1f.bmp
11,30	11,60	14 anos/3m.bmp	13,20	12,80	14 anos/2f.bmp
11,90	11,90	14 anos/4m.bmp	11,80	11,00	14 anos/3f.bmp
12,60	13,00	14 anos/5m.bmp	13,50	14,50	14 anos/4f.bmp
11,30	11,60	14 anos/7m.bmp	14,70	14,50	14 anos/6f.bmp

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)